

**YENİDEN İMALAT SİSTEMLERİ İÇİN
BÜTÜNLEŞİK LOJİSTİK AĞI TASARIMI VE BİR KARMA
TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ**

Neslihan ÖZGÜN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2007

ANKARA

Neslihan ÖZGÜN tarafından hazırlanan YENİDEN İMALAT SİSTEMLERİ İÇİN BÜTÜNLEŞİK LOJİSTİK AĞI TASARIMI VE BİR KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği A.B.D.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Endüstri Mühendisliği A.B.D., G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Bahar ÖZYÖRÜK

Endüstri Mühendisliği A.B.D., G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Kürşat TÜRKER

Endüstri Mühendisliği A.B.D., Kırıkkale Üniversitesi

Tarih: 13/12/2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Neslihan ÖZGÜN

**YENİDEN İMALAT SİSTEMLERİ İÇİN BÜTÜNLEŞİK LOJİSTİK AĞI
TASARIMI VE BİR KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Neslihan ÖZGÜN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2007**

ÖZET

Pazardaki rakiplerine karşı daha fazla rekabet gücü kazanmak için müşteri hizmet düzeylerini artırma, imalat temin sürelerini azaltma ve envanter seviyelerini düşürme gibi konulara önem veren firmalar, bu amaçları gerçekleştirebilmek için üretim dağıtım planlama, tedarik zinciri yönetimi, lojistik yönetimi gibi stratejiler uygulama eğilimindedir. Diğer taraftan günümüzde artan çevre bilinci ve doğal kaynakların tükenmesi ile birlikte geri kazanımlı imalat sistemleri, tersine lojistik, geri dönüşüm ve yeniden imalat konularına olan ilgi de artmaktadır. İşletmeler, ekonomik ve ekolojik sebepler, hükümetlerin koydukları kanunlar, sosyal sorumluluklar gibi nedenlerle tersine akışı sistemlerine dahil etmektedir. Bu tezde ileri ve geri akışı optimize etmek üzere çok ürünlü çok aşamalı bütünleşik bir sistem için bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirilmiş ve örnek bir problem üzerinde çözülmüştür. Önerilen model, değişik boyutlarda test problemleri üretilerek test edilmiştir. Ayrıca modelin düşük, orta ve yüksek geri dönüş oranlarındaki davranışının belirlenebilmesi amacıyla her bir problem büyüklüğü farklı geri dönüş oranları için çözülmüştür. Modelin toplama ve dağıtım faaliyetleri için ortak tesis kullanımına izin verecek şekilde revize edilmesiyle sabit maliyetlerden tasarruf sağlanmıştır.

Bilim Kodu : 906.1.141
Anahtar Kelimeler : Tersine lojistik, yeniden imalat, geri kazanım.
Sayfa Adedi : 129
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

**INTEGRATED LOGISTICS NETWORK DESIGN FOR
REMANUFACTURING SYSTEMS AND A MIXED INTEGER
PROGRAMMING MODEL
(M.Sc. Thesis)**

Neslihan ÖZGÜN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
December 2007**

ABSTRACT

Firms give significant importance to some issues like maximizing the service performance for customers, reducing the manufacturing lead time and minimizing the inventory level in order to be more competitive to others in the market. In order to achieve these goals, companies attempt to apply strategies like production distribution planning, supply chain management, and logistics management. On the other hand, nowadays there has been a growing interest in recoverable manufacturing systems, reverse logistics, recycling, and remanufacturing issues because of the increasing environmental concern and also depletion of natural resources. Firms incorporate reverse flow to their systems for such reasons as economic and ecological reasons, regulations from governments, social responsibilities. In this thesis, a mixed integer programming model is proposed in order to optimize the forward and reverse flows of a multi-product multi-stage integrated system and illustrated on an example. Proposed model is tested by producing different size test problems. Each problem sizes are also solved for different returning rates to see the behavior of model for low, medium, and high returning rates. Savings from fixed costs are provided by revising the model so that it allows to use common facility for collection and distribution activities.

Science Code : 906.1.141
Key Words : Reverse logistics, remanufacturing, recovery.
Page Number : 129
Adviser : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

TEŞEKKÜR

Öncelikle çalışmalarım boyunca yardım ve desteğini benden esirgemeyen, fikir ve tecrübeleriyle beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN'e, programlama konusunda yardımcı olan Arş. Gör. Kemal ALAYKIRAN'a, son olarak da manevi destekleriyle daima yanımda olan eşim Eray DEMİREL'e ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LOJİSTİK YÖNETİMİ	3
2.1. Lojistik	3
2.2. Lojistik Alanları	4
2.2.1. Tedarik Lojistiği	5
2.2.2. Üretim Lojistiği	5
2.2.3. Dağıtım Lojistiği	5
2.3. Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetiminin İlişkisi	6
2.4. Lojistiğin Yönetilmesi	9
2.5. Lojistiğin Önemi	10
2.6. Lojistikte Dış Kaynak Kullanımı	11
3. TERSİNE LOJİSTİK	14
3.1. Tersine Lojistik Nedir?	14
3.2. Tersine Lojistik Faaliyetleri	15
3.3. Tersine Lojistikte Kullanılan İyileştirme Opsiyonları	16
3.3.1. Tamir etme	16

Sayfa

3.3.2. Ürün yenileme	17
3.3.3. Yeniden imalat	17
3.3.4. Parça alma	23
3.3.5. Yeniden kullanım	23
3.3.6. Geri dönüşüm	24
3.3.7. Elden çıkarma	24
3.4. Tersine Lojistiğin Amaçları	25
3.5. Tersine Lojistik Uygulamaları	27
3.6. Tersine Lojistiğin Faydaları	29
3.7. Tersine Lojistik ve Yeşil Lojistik	30
3.8. Tersine Akış Nedenleri	31
3.9. Tersine Lojistiğin Özellikleri	32
3.10. Tersine Lojistik Sistem İhtiyaçları	33
3.11. İleri ve Tersine Lojistik	34
3.12. Tersine Lojistik Ağı Tasarımı	38
3.13. Tersine Lojistikte Başarı ve Bariyerler	41
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	44
4.1. Giriş (Tanım, Kapsam ve Örnekler)	44
4.2. Tersine Lojistik Konuları	52
4.2.1. Ağ tasarımı	52
4.2.2. Ayırıştırma	54
4.2.3. Dış kaynak kullanımı	55
4. 3. Temel Tersine Lojistik Opsiyonları	58

	Sayfa
4.3.1. Tamir etme	58
4.3.2. Yeniden imalat	59
4.3.3. Yeniden kullanım	68
4.3.4. Geri dönüşüm	69
4.3.5. Elden çıkarma.....	71
5. YENİDEN İMALAT SİSTEMLERİ İÇİN BÜTÜNLEŞİK LOJİSTİK AĞI TASARIMI ve BİR KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ	72
5.1. Problemin Tanımı	72
5.2. Model.....	74
5.2.1. Notasyonlar	74
5.2.2. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar	75
5.3. Örnek Problem 1	77
5.4. Modelin Test Edilmesi ve Duyarlılık Analizi.....	82
5.5. Test Sonuçları	83
5.6. Düzenlenmiş Model	94
5.7. Örnek problem 2	97
6. SONUÇ	100
KAYNAKLAR.....	102
EKLER.....	113
EK-1 Problem verileri.....	114
EK-2 Örnek Problem 1'e ait GAMS modeli.....	117
EK-3 15 ve 20 ürün çeşidi için deney tasarımı sonuçları.....	124
ÖZGEÇMİŞ	128

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. İmalat ve yeniden imalat ortamlarının karşılaştırılması	18
Çizelge 3.2. Örnek geri dönüş oranları	28
Çizelge 3.3. Tersine lojistik sistemlerde yer alan birimler	31
Çizelge 3.4. İleri ve tersine lojistiğin karşılaştırılması	36
Çizelge 3.5. Tersine lojistikte maliyet düzeyi	37
Çizelge 4.1. Tersine lojistik tanımları.....	44
Çizelge 4.2. Tersine lojistikte dış kaynak kullanımı.....	56
Çizelge 4.3. Yeniden imalat envanter literatürünün sınıflandırılması	65
Çizelge 4.4. Çeşitli ürünlerin yeniden imalatını işleyen makale örnekleri	68
Çizelge 5.1. Üretim tesislerinde üretilen ürün miktarları.....	78
Çizelge 5.2. Müşteri bölgelerinden toplama merkezlerine taşınan ürün miktarları ...	79
Çizelge 5.3. Müşteri bölgelerinden ayrıştırma tesislerine taşınan ürün miktarları.....	79
Çizelge 5.4. Ayrıştırma tesislerinden üretim tesislerine taşınan bileşen/parça miktarları.....	80
Çizelge 5.5. Üretim tesislerinden dağıtım merkezlerine taşınan ürün miktarları.....	81
Çizelge 5.6. Dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine taşınan ürün miktarları ...	81
Çizelge 5.7. Toplama merkezlerinden ayrıştırma tesislerine taşınan ürün miktarları	81
Çizelge 5.8. Rastgele problem üretiminde kullanılan parametre aralıkları.....	83
Çizelge 5.9. 2 ürünlü problemler için hesaplama sonuçları	84
Çizelge 5.10. 5 ürünlü problemler için hesaplama sonuçları	85
Çizelge 5.11. 10 ürünlü problemler için hesaplama sonuçları	86

Çizelge**Sayfa**

Çizelge 5.12. Ortak tesis kullanılması durumunda müşteri bölgelerinden dağıtım/toplama merkezine taşınan ürün miktarları	97
Çizelge 5.13. Ortak tesis kullanılması durumunda dağıtım/toplama merkezlerinden ayırıştırma tesislerine taşınan ürün miktarları	98

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Lojistik kavramı	3
Şekil 2.2. Tedarik zinciri	8
Şekil 3.1. Ürün geri alım opsiyonları.....	25
Şekil 3.2. Tersine lojistik ve yeşil lojistik	30
Şekil 5.1. İleri ve geri akışı içeren bir lojistik şebekesi	73
Şekil 5.2. Örnek problem 1 için optimum sonuçlar.....	82
Şekil 5.3. 2 ürünlü en küçük problem boyutu için dönüş oranı-maliyet ilişkisi.....	89
Şekil 5.4. 5 ürünlü en küçük problem boyutu için dönüş oranı-maliyet ilişkisi.....	89
Şekil 5.5. 10 ürünlü en küçük problem boyutu için dönüş oranı-maliyet ilişkisi.....	90
Şekil 5.6. 15 ürünlü en küçük problem boyutu için dönüş oranı-maliyet ilişkisi.....	90
Şekil 5.7. 20 ürünlü en küçük problem boyutu için dönüş oranı-maliyet ilişkisi.....	91
Şekil 5.8. Ürün sayılarındaki artışın sistem maliyetine etkisi	92
Şekil 5.9. Müşteri sayılarındaki artışın sistem maliyetine etkisi	93
Şekil 5.10. Aday dağıtım merkezi sayılarındaki artışın sistem maliyetine etkisi.....	94
Şekil 5.11. Dağıtım ve toplama faaliyetlerinin tek tesiste toplanması durumunda lojistik şebekesi.....	95
Şekil 5.12. Örnek problem 2 için optimum sonuçlar.....	99

1. GİRİŞ

Günümüzde hemen her konuda, gerek ulusal gerekse uluslararası platformda yoğun bir rekabet yaşanmaktadır. Çağımız şirketleri ürettikleri ürünlerin kalitesinden ödün vermeden, maliyetleri düşürmeye ve müşteri memnuniyetini artırmaya çalışarak yoğun rekabet yaşanan pazarlarda varlıklarını sürdürmeye çalışmaktadırlar. Bu durum, üretimin planlanmasının yanında dağıtımın da verimli ve düşük maliyetli bir şekilde planlanmasını zorunlu kılmaktadır. Böyle bir ekonomik yapı içinde şirketlerin maliyetlerin azaltılması ve müşteri memnuniyetinin sağlanması konularına odaklanmaları lojistiğin önem kazanmasına neden olmuştur.

Lojistiğin, ürünlerin kazanıldıkları noktadan tüketiciye kadar olan hareketinin yönetimi olduğu düşünülse de artık birçok firma için aynı zamanda tersine bir lojistik kanalının da yönetilmesi gerekmektedir. Lojistik bakış açısından, bir ürünün ömrü o ürünün tüketiciye ulaşmasıyla sona ermemektedir. Ürünlerin tesislerden depolara, depolardan dağıtım merkezlerine ve müşterilere taşınmasının dışında, taşıma sırasında gerçekleşen arızaların, müşteriler tarafından iade edilen ürünlerin, geri dönüşümlü ve depozitolu malzemelerin tesislere geri gönderilmesi ile sisteme yeniden dahil olan ürünler bulunmaktadır. Kullanılmaz hale gelen, modası geçmiş, hasarlı veya fonksiyonunu yitirmiş ürünler, onarılmak yada elden çıkarılmak için kaynak noktalarına geri dönmektedirler.

Diğer taraftan artık geri dönen ürünlere büyük önem verilmekte ve hayat çevrimini tamamlamış ürünler için imalatçılara sorumluluklar yüklemektedir. Pek çok ülkede firmaların ürünlerinin belirli bir kısmını geri dönüştürmeleri amacıyla yasalar çıkarılmış yada çıkarılması için çalışmalar başlatılmıştır. Tersine lojistiğin önümüzdeki yıllarda hangi ürünlerin tasarlanacağı, üretileceği ve dağıtılacağı konularının belirlenmesinde çok önemli bir eleman teşkil etmesi beklenmektedir.

Bu tezde ileri ve ters yönlü akışları birlikte optimize ederek toplam sistem maliyetini minimize eden bütünleşik bir model kurulmuş ve farklı problem boyutları için test

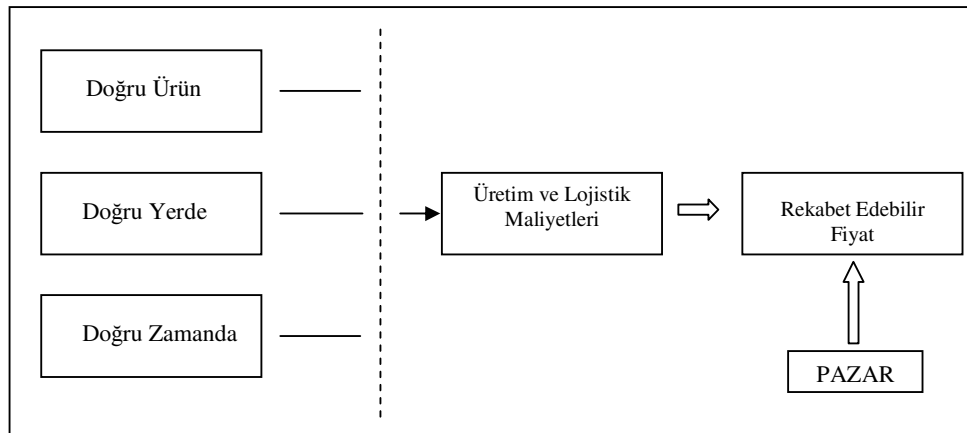
edilmiştir. Model daha sonra benzer iş faaliyetleri için ortak tesis kullanımına imkan sağlayacak şekilde düzenlenmiş ve çözülmüştür.

Tezin ikinci bölümünde lojistik kavramı üzerinde durulmuş, lojistiğin ne olduğu, alanları, yönetilmesi, önemi ve tedarik zinciri ile ilişkisi gibi konulara değinilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmanın konusunu oluşturan tersine lojistik ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Tersine lojistik faaliyetleri, özellikleri, amaçları, yeşil ve ileri lojistikten farklılıkları bu bölümde işlenen konular arasındadır. Çalışmada geliştirilen model yeniden imalat sistemlerini konu edindiğinden tersine lojistikte ürün geri kazanım opsiyonlarından biri olan yeniden imalat bu bölümde ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Dördüncü bölümde tersine lojistik literatürü çeşitli başlıklar altında sınıflandırılmış ve ayrıntılı olarak incelenmiştir. Beşinci ve son bölümde ise ileri ve geri akışı içeren bütünleşik sistemler için geliştirilmiş karma tamsayılı programlama modeli ve örnek bir problem için çözümü verilmiştir. Model, test problemleri üzerinde incelenmiş daha sonra sonuçlar yorumlanmıştır. Son bölümde ayrıca ortak tesis kullanımını mümkün kılan geliştirilmiş model, diğer modellerle aynı örnek problem ve parametreler için çözümü ve iki modelin karşılaştırılmaları da ele alınmıştır.

2. LOJİSTİK YÖNETİMİ

2.1. Lojistik

Lojistik sözcüğü ilk kez 1905 yılında “Ordulara ait malzeme ve personelin taşınma, tedarik, bakım ve yenilenmesi” şeklinde askeri bir fonksiyonu tanımlamak üzere kullanılmıştır [Kobu, 1998]. Lojistik kavramının iş literatürüne girmesiyle eskiden var olan nakliyenin yerine, günümüzün gerektirdiği hizmetleri sağlayabilmek için yeni bir hizmet anlayışı ortaya çıkmıştır. Bu kavram çeşitli şekillerde tanımlanmaya çalışılmıştır. Lojistik "Doğru şeyin, doğru yerde, doğru zamanda olmasını sağlamak" şeklinde tanımlanabilir. Ancak bu tanıma dördüncü bir parametre daha eklenmelidir. Uluslararası rekabet şartları çerçevesinde istenilen şeyi *makul ve kabul edilebilir bir masrafla yani rekabet edebilir bir fiyatla sağlamak* yukarıda sayılan üç kriterli tanıma dahil edilmesi gereken dördüncü kriterdir. Lojistiğin tanımı bir şekilde ifade edilecek olursa aşağıdaki yapı karşımıza çıkar.



Şekil 2.1. Lojistik kavramı

Lojistik Yönetimi Derneği (Council of Logistics Management) tarafından lojistik, tedarik zincirinin bir parçası olarak değerlendirilmekte ve hammadde, yarı mamul, mamul ve ilgili bilgilerin üretim noktasının başından tüketim noktasına kadar, müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla, etkin ve düşük maliyetli bir şekilde

akış ve depolanması süreçlerinin planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tanımdan da anlaşılacağı gibi lojistik öncelikli olarak müşteri gereksinimlerini karşılamaya yönelik bir yönetim sürecidir.

Lojistik sadece maddelerin taşınmasından çok daha fazlasını ifade etmektedir. Nihai tüketiciye ulaştırılınca kadar ürün ve/veya hizmete pek çok fayda eklenir. Yarar sağlayan bütün faaliyetlerin yönetimi lojistik kapsamındadır. Yarar kavramı, mal ve hizmet dışındaki zamanlama, miktar, destek sistemleri, yer ve maliyet gibi unsurları içerir.

Lojistik fonksiyonunun işletme yönetiminde önem kazanmasının temel nedenleri arasında;

- Taşıma uzaklıklarının ve maliyetlerinin artması
- Üretim teknolojilerinin pek çok alanda doyma noktasına ulaşması nedeniyle yöneticilerin maliyet düşürmek için lojistik alanına yönelmesi
- Stok kontrolünde Tam zamanında üretim, Malzeme ihtiyaç planlama, Kanban vb. sistemlerin yaygın bir biçimde kullanılması
- Mamul çeşitlerinin gelişen ve değişen tüketici isteklerini karşılama zorunluluğu ile hızla artması
- Bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ve haberleşme sistemlerinin gelişmesi
- Çevreyi koruma amacı ile kullanılmış malzemelerin yeniden kullanılmak üzere işlenmesi
- Büyük uluslararası üretim ve satış firmalarının çoğalması sayılabilir [Kobu, 1998].

2.2. Lojistik Alanları

Lojistik, tedarik kaynağından başlayıp müşteriye kadar uzanan kanal içerisinde ürün ya da hizmetlerin akışı ile ilgili birçok faaliyeti kapsamaktadır. Bu faaliyetlere ulaştırma, depolama, envanter yönetimi, koruyucu ambalajlama, elleçleme ve tedarik örnek olarak verilebilir. Bu fonksiyonlar, tedarik kaynaklarından tüketim noktasına

kadar uzanan zincir içerisinde defalarca tekrarlanmaktadır. Kimi ürünler için kanal boyunca “tersine akış” da söz konusu olabilmektedir.

Lojistiğe bir işletme açısından bakıldığında üç farklı alanı vardır:

2.2.1. Tedarik lojistiği

Tedarik lojistiği, işletmeye hammadde, yarı mamul ve hizmet sağlayan firmalarla ilişkilerin düzenlenmesi ve imalatın ihtiyacı olan girdilerin zamanında hazır bulundurulması görevlerini gerçekleştirir. Kısaca ifade etmek gerekirse bu süreç tamamen üretim öncesi gerçekleştirilen ve kaynakların üretim hattına taşınmasına hizmet eden bir süreçtir. Tedarik lojistiği süreci firmalara üretim öncesi masraflarında önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu süreç içerisinde hammaddelerin firma adına daha ucuz bir şekilde temin edilerek üretim hattına kadar getirilmesini sağlar. Bu çerçevede içerisinde aşağıdaki problemlere çözüm aranır [Kobu, 1998];

- Hangi malzeme, ne zaman ve ne kadar sipariş edilecek?
- Hangi firmadan satın alınacak?
- Tedarik kaynakları nasıl değerlendirilecek?
- Hangi taşıma araçları kullanılacak?
- Gelen malzeme nasıl depolanacak?

2.2.2. Üretim lojistiği

Gelen malzeme ve parçaların mamule dönüştürülmesi sırasında yapılan taşımaları ve ara depolamaları içerir. Bu sistemdeki lojistik faaliyetler tamamen işletme içi bir fonksiyon olarak düşünülür.

2.2.3. Dağıtım lojistiği

Fiziksel dağıtım olarak da adlandırılan ürünlerin müşterilere fiziksel olarak

teslimatını içeren fonksiyonu içerir. Mamulün ambara gönderilmesinden tüketiciye ulaştırılmasına kadar geçirdiği depolama ve taşıma işlemlerinden oluşur.

Üretim sonrası lojistik yani dağıtım lojistiği, lojistik kelimesi anıldığında akla ilk gelen hizmet olmaktadır. Üretim öncesi lojistik faaliyetleri sonrasında ilgili işlerin istasyonlara ve tezgahlara iletilmesi sonrası, ambardan dağıtım kanallarına ve müşterilere kadar uzanan zinciri kapsar. Kısaca, bu süreçte üretim işlemi tamamlanmış olup üretilen malların pazara ve müşterilere ulaştırılması sağlanmaktadır. Bu başlık altında aşağıdaki sorulara cevap aranır [Kobu, 1998];

- Tüketicinin miktar, zaman ve yer olarak beklediği hizmetler nelerdir?
- Tüketicinin beklediği dağıtım hizmetleri mümkün olan en düşük maliyetle karşılanıyor mu?
- Dağıtım merkezlerinde hangi mamuller, ne miktarda stoklanacak?
- Hangi taşıma araçları kullanılacak?

Dağıtım lojistiği süreci bir işletme tabiri olarak kullanılan fiziki dağıtım kanallarını da içine alan ve malın müşteriye ulaştırılmasına yönelik faaliyeti kontrol altında tutan süreçtir. Bu süreç içerisinde, stok yönetiminden malın müşteriye ulaşmasına kadar olan faaliyetlerin çift taraflı bilgilendirilme yolu ile kontrol altında tutulmasına, böylece de malın müşteriye en uygun şartlar altında ulaştırılmasına imkan tanınmaktadır.

2.3. Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetiminin İlişkisi

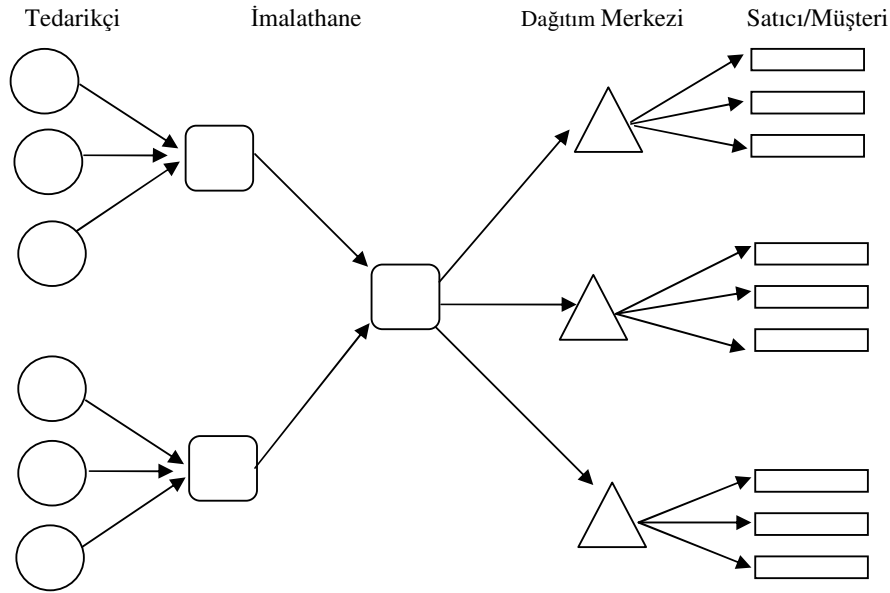
En genel anlamıyla düşünüldüğünde bir işletmenin amacı, ürettiği bir ürün veya hizmeti tüketicisine ulaştırıp hizmet verdiği alanda gelir sağlamaktır. Bu alanda sayıları sürekli artan rakipler ile artan rekabet koşullarında ayakta kalma ve rekabet üstünlüğünün sağlanabilmesi için işletmelerin ellerindeki kaynakları en yüksek verimlilikte, en yüksek kalitede, en düşük maliyetle sağlaması gerekmektedir. İşletmeler rekabet şartlarında değişen müşteri taleplerine uygun esnek bir üretimi

gerçekleştirmek ve üretimden son müşteriye kadar uzanan tedarik zinciri içindeki aksaklıkları gidermek zorundadır.

Nihai müşterilere dağıtılmak üzere hammaddeleri tamamlanmış ürünlere dönüştüren tedarik zinciri, çok safhalı, kapsamında birden fazla görevi olan ve birçok işletmeyi içeren bir süreçtir. Tedarik zinciri sadece imalatçı ve tedarikçilerden oluşmaz. Taşıyıcılar, depolar, perakendeciler ve müşteriler de tedarik zincirinin birer parçasıdır. Geleneksel tedarik zinciri satılacak mal için gerekli satın alma ve elde etme ile başlar. Ardından, satışların desteklenmesi amacıyla envanter yönetimi ve depo yönetimine yönelir. Ürünlerin müşterilere teslimatıyla son bulur. Tipik bir tedarik zinciri aşağıdaki aşamaları içerir [Chopra ve Meindl, 2003];

- Müşteriler
- Perakendeciler
- Toptancılar/Dağıtıcılar
- İmalatçılar
- Bileşen/Hammadde Tedarikçileri

En basit haliyle tedarik zincirinde malzemeler hammadde kaynaklarından, bu hammaddeleri yarı mamullere dönüştüren bir üretim seviyesine geçer. Bu yarı mamuller daha sonra tamamlanmış ürünleri meydana getirmek üzere bir sonraki seviyede birleştirilecektir. Elde edilen ürünler dağıtım merkezlerine ve buralardan da satıcılar ve müşterilere aktarılır. Şekil 2.1’de genel tedarik zinciri yapısı verilmiştir.



Şekil 2.2. Tedarik zinciri [Teigen, 1997]

Ancak bir şirketin tedarik zinciri ağı müşteri beklentileri, ürün yapısı, bahsedilen aşamaların üstlendiği rollere göre değişiklik gösterir. Örneğin Dell Firması, imalatçıların müşteri siparişlerini doğrudan karşıladığı bir politika izlemektedir. Siparişe göre üretim yapan firmanın tedarik zincirinde perakendeciler, toptancılar ya da dağıtıcılar bulunmamaktadır [Chopra ve Meindl, 2003].

Zaman ve esneklik konuları tedarik zincirindeki rekabet açısından en önemli noktaları meydana getirmektedir. Rekabet avantajı sağlayacak bir diğer önemli nokta ise müşteriye teslim edilen son ürüne kadarki hattın etkin yönetilmesidir. Bu noktada lojistik ve üretim dağıtım planlama, tedarik zinciri yönetimindeki en önemli faaliyetler olarak göze çarpmaktadır.

Genellikle tedarik zinciri, lojistik ile karıştırılmaktadır. Oysa lojistik, tedarik zinciri değildir, onun önemli ve büyük bir parçasıdır. Lojistik tedarik zinciri sürecinin, müşteri ihtiyaçlarının karşılanması için başlangıç noktasından tüketim noktasına kadar olan malların, hizmetlerin ve ilgili bilgilerin etkin ve verimli bir şekilde akışını ve depolanmasını planlayan, uygulayan ve kontrol eden kısımdır.

Lojistiğin bilinen amacı; doğru ürünlerin, doğru miktarlarda, doğru yerde, doğru zamanda ve en az maliyetle tedarik zincirinde konumlandırılmasını sağlamaktır. Lojistik, mallara değer ekleyen üç işlemi kapsar. Mallara eklenen söz konusu temel değerler konum, zaman ve yapıdır. Konum, malların, müşteri için daha düşük değerli olduğu yerlerden daha yüksek değerli olduğu yerlere taşınmasıdır. Konum değerinin eklenmesi nakliye faaliyetini kapsar. Zaman değerinin katılması, mallara ihtiyaç oluncaya kadar bunların depolanması ve tüm proseslerin daha verimli yapılmasıyla gerçekleşir. Zaman değerinin eklenmesi envanter bulundurma maliyetlerini kapsar. Son olarak yapı değeriyle malların istenilen miktarlarda ve yapılarda düzenlenerek, bunlara sipariş değeri eklenir.

Tedarik zincirleri boyunca prosesleri bütünleştiren, tedarikçi ve müşterileriyle ortaklıklar meydana getirerek yeterli artı değeri olmayan fonksiyonları eleyen, böylece nihai müşterileri üzerindeki odaklanmalarını artıran işletmeler, tedarik zinciri yönetimi için lojistiği bir zorunluluktan çok, başarı için stratejik bir yol olarak görmektedir. Tedarik zinciri yönetiminin başarısını; lojistik zincirinin etkinliği ve hızlı yanıt verebilme özelliği etkiler.

2.4. Lojistiğin Yönetilmesi

Lojistik yönetimi; müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere, tedarik zinciri içindeki malzemelerin, hizmetlerin ve bilgi akışının etkili ve verimli bir şekilde, her iki yöne doğru hareketinin ve depolanmasının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesidir. Lojistik yönetimi, müşteri gereksinimleri doğrultusunda sevkiyat noktası/noktaları ile teslimat noktası/noktaları arasındaki malzemelerin iki yönlü akışı boyunca yer alan faaliyetleri bilgi tabanlı bütünsel olarak yönetir.

Lojistik yönetimi kavramı ile ifade edilen faaliyetler içerisinde;

- Nakliye
- Depolama

- Envanter yönetimi
- Elleçleme
- Sipariş işleme
- Ambalajlama
- Satın alma
- Bilgi yönetimi yer almaktadır.

Lojistik yönetimi, bir sistem yaklaşımı belirleyerek her biri ayrı bir maliyet unsuru olan bu fonksiyonlar arasında denge sağlamayı ve müşteri hizmet düzeyini sürekli geliştirmeyi hedef olarak belirler.

Yukarıda belirtilen bu süreç içerisinde yer alan lojistik faaliyetlere ilişkin maliyet birimleri analiz edildiğinde, mamul, hammadde ve hizmetlerin bir yerden diğer bir yere taşınmasını ifade eden taşıma maliyetlerinin toplam içindeki yeri dikkat çekmektedir (%50-65). Taşıma maliyetlerini %20-35 ile envanter ve elleçleme maliyetleri izlemektedir. Elleçleme olarak adlandırılan kısa mesafeli malzeme taşıma işleminin gerçekleştirilmesidir. Elleçleme, malzemenin depoya taşınması, istiflenmesi, oradan nakliye aracına taşınarak yükleme işleminin yapılması gibi işlerdir. Bu tip kısa mesafeli taşımalar malların kalitesi ve fire açısından önemlidir.

Sıralanan temel lojistik faaliyetleri günümüzde birbiriyle bağlantılı hale gelmiştir. Her bir faaliyet tek başına diğerini etkileyebilecek, maliyeti yükseltebilecek olan alanlardır. Bu sebeple bütün bu işlerin işletmelerin ihtiyaçları çerçevesinde en uygun bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu da lojistik yönetimi ile gerçekleştirilebilecek bir süreçtir.

2.5. Lojistiğin Önemi

Lojistik konusuna olan ilginin artmasını sağlayan faktörler arasında bilgi teknolojilerindeki gelişmeler, artan müşteri hizmetlerine verilen önem, toplam

maliyet ve sistem yaklaşımının önem kazanması ve lojistiğin pazarda rekabet için stratejik bir silah olduğunun fark edilmesi sayılabilir.

Lojistik yönetimi, maliyet/verimlilik ve değer avantajı kazanmasında şirkete katkıda bulunmaktadır. Lojistik ile, malzeme akışını birbirinden bağımsız faaliyetler olarak yönetmek yerine, kaynaktan kullanıcıya kadarki akış entegre tek bir sistem olarak planlamakta ve koordine edilmektedir.

Lojistiğin, ürünlerin kazanıldıkları noktadan tüketiciye kadar olan hareketinin yönetimi olduğu düşünülmesine rağmen, birçok firma için aynı zamanda tersine bir lojistik kanalının da yönetilmesi gerekir. Günümüzde kullanılmaz hale gelen, modası geçmiş, hasarlı veya fonksiyonunu yitirmiş ürünler, onarılmak veya elden çıkarılmak için kaynak noktalarına geri dönmektedir. Tersine lojistik kanalı ile ileri lojistik kanalı simetrik olmak zorunda değildir. Tersine lojistik kanalı yeni bir kanal olarak geliştirilebilir.

2.6. Lojistikte Dış Kaynak Kullanımı

Faaliyetler her geçen gün daha karmaşık bir hale geldikçe firmaların her işi kendilerinin yapmaları da daha maliyetli olmaktadır. Bu nedenle uluslararası rekabet ortamı işletmeleri uzmanlık alanları dışındaki faaliyetleri, konusunda uzman firmalara devretmeye zorlamaktadır. Böylece işletmeler, ana faaliyetlerine odaklanarak diğer ihtiyaçlarını dış hizmet sağlayıcı firmalardan edinmeye başlamışlardır. Bu durum sadece lojistik faaliyetlerde değil, üretimin değişik kaynaklardan sağlanması gibi diğer alanlarda da görülmeye başlanmıştır. Hatta günümüzde firmaların kendi temel faaliyet alanları için çok kritik uygulamalar dışında her şeyin dışarıdan alabilmesi de mümkün olmaktadır.

Firmalar depo yönetimi, mal sevkiyatı, lojistik bilgi sisteminin kurulması, filo faaliyetleri ve yukarıda bahsedilmiş olan lojistikle ilgili diğer alanlarda lojistik hizmetini dışarıdan sağlayabilmektedir. Bir firma için lojistik faaliyete ilişkin dış kaynak kullanımı çeşitli faydalar sağlamaktadır. Bu faydalar şu şekilde sıralanabilir;

- Firmalara ana faaliyetlerinde yoğunlaşma olanağı sağlar; yani firma alır, üretir, satar.
- Maliyet ve zaman avantajı sağlanmasına olanak verir.
- Müşteri memnuniyetini artırmayı kolaylaştırır.
- Coğrafi esneklik sağlanmasına ve yeni pazarlar oluşturulabilmesine imkan tanır. Dış kaynak kullanılan firmanın elindeki mevcut kapasiteyi birleştirerek ulaşılamayan coğrafi bölgelerin kapıları açılabilir.
- Daha az risk üstlenilir yani riski azaltır.
- Lojistik faaliyetler için altyapı maliyetini düşürür.
- Güvenli, ucuz ve süratli bir biçimde ürünün müşteriye ulaştırılmasını sağlar.

Dış alım işlemi ile lojistik hizmetlerin dışarıdan sağlanması, firmaya maliyeti azaltma ve hizmet kalitesini yükseltme olanağı sağlamakla beraber pazarın değişen ihtiyaçlarına göre esneklik, bilgi teknolojilerinden yararlanma, lojistik ile ilgili süreçleri tek tek ele alıp çözüm getirme ve kullanılan kaynakları azaltma gibi çeşitli avantajları da sağlamaktadır. Böylece firmalar kendi ana üretim konuları üzerinde yoğunlaşarak işlem kapasitelerini arttırabilmekte ve ürünlerini pazara daha hızlı sunabilme şansına sahip olabilmektedirler.

Ancak, yine de dış alım yoluyla çözüm aranması, firmanın üretim stratejisi veya ürün özelliği göz önüne alınarak değerlendirilmelidir. Çünkü dış kaynak kullanımında yukarıda belirtilen yararların yanında hizmet veren ve alan firmalar arasındaki ilişkilerin doğru tanımlanmadığı ve belirlenmediği durumlarda bazı sıkıntılar da yaşanabilmektedir. Lojistik faaliyetlerin kontrolünün kaybedilerek uzun vadede tek firmaya bağlanması, alternatiflerin yeterince değerlendirilememesi, hizmet alınacak firmanın sözlerini yerine getirememesi, değişime ayak uyduramaması ve hizmet alan firmanın iş hedeflerini doğru olarak anlamaması, firma için gizli kalması gereken bilgilerin paylaşılmasının bir endişe kaynağı olması bunlardan bazılarıdır. Bu tür sıkıntıların yaşanmaması için en başta yapılması gerekenler, hizmet sözleşmesinde beklentilerin en doğru şekilde tespit edilerek belirlenmesi, hizmet alan ve veren firmanın düzenli bir şekilde bir araya gelerek gerekli görüş alışverişinde bulunması,

işleyişteki hataların ve yanlış anlamaların giderilmesi, hizmetin aksaması veya herhangi bir olumsuzluk durumunda işleyecek her iki tarafın çıkarlarını gözeterek esnek kuralların yapılan sözleşmede açık olarak belirlenmesidir. Bu, sorunları giderebileceği gibi dış kaynak kullanımı ile faaliyetlerin daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmesini de sağlayacaktır.

3. TERSİNE LOJİSTİK

3.1. Tersine Lojistik Nedir?

Günümüzde pek çok ülkede firmaların ürettikleri ürünlerin belirli bir kısmını geri dönüştürmeleri amacıyla yasalar çıkarılmış ya da çıkarılması için çalışmalar başlatılmıştır. Atık arazilerinin kapasitelerinin gün geçtikçe daralması, atıkların azaltılmasını endüstriyel ülkelerde en önemli ilgi alanlarından biri haline getirmiştir. Atık arazisi kullanımının kısıtlanması, elden çıkarma ücretlerinin yükselmesi gibi sebepler bu konuda üretici sorumluluğunun artmasına neden olmuştur. Hollanda ve Tayvan'da otomobiller, Almanya'da paket malzemeleri, Avrupa Birliği üyesi ülkeler ve Japonya'da elektronik ekipmanların geri dönüşümü için hükümetler yaptırımlar uygulanmaktadır. İlk olarak Avrupa'da ilgi görmesine karşın günümüzün global pazarlarında bu konuya olan ilgi dünya çapında artmaya devam etmektedir. Müşteriler gün geçtikçe bilinçlenmekte ve çevre konusunda daha duyarlı hale gelmektedir. Bu yüzden 'çevreci' imajı önemli bir pazarlama aracı olarak kendini göstermektedir. Diğer taraftan ekonomik unsurlar da ürünlerin iyileştirilmesinde tetikleyici rol oynamaktadır. Kullanılmış ürünler yenilerine nazaran daha ucuz kaynak teminine imkan tanımaktadır [Fleischmann ve ark., 2001].

Ürünlerin yeniden kazanımı için, kullanılmış ve iyileştirilmiş ürünlerin akışına imkan veren uygun lojistik yapıların oluşturulması gerekmektedir. Ürünlerin kullanıcılarından tesislere taşınması ve buradan da yeniden pazara sunulması için yerleşim yerlerinin tespiti, tesisler ve her bir tesis arasında taşınacak miktarlar alınması gereken önemli kararlar arasındadır [Fleischmann ve ark., 2001].

Dowlatsahi tersine lojistiği aşağıdaki şekilde tanımlamıştır [Dowlatsahi, 2005]:

“Bir imalat tesisinin, daha önceden taşınmış ürün ya da parçaları mümkün geri dönüşüm, yeniden imalat ya da elden çıkarma işlemlerinden birini uygulamak üzere tüketim noktasından sistematik bir şekilde yeniden elde etmesi sürecidir.”

Fleischmann ve arkadaşları ise tersine lojistiği;

“Kullanıcısına artık gerekmeyen kullanılmış üründen, pazarda yeniden kullanılabilen ürüne kadarki tüm lojistik faaliyetlerini kapsayan bir süreç”

olarak tanımlamışlardır [Fleischmann ve ark., 1997]. Bu tanıma göre tersine lojistik, dağıtım planlaması açısından, kullanılmış ürünün son kullanıcıdan üreticiye doğru fiziksel olarak taşınmasını içerir. Sonraki adım, geri dönmüş ürünün üretici tarafından yeniden kullanılabilir ürün haline dönüştürülmesidir.

3.2. Tersine Lojistik Faaliyetleri

Bir tersine lojistik sistemi aşağıdaki faaliyetleri içerir.

Toplama: Ürünlerin müşterilerden iyileştirilmek üzere toplanmasını ifade etmektedir. Tersine tedarik zincirine girecek ürünleri değişik şekillerde toplamak mümkündür. Ancak genellikle perakendeciler müşterilerden dönen ürünleri tedarikçilerinin farklı şehirlerdeki depolarına gönderme sorumluluğunu üstlenmektedir.

Sınıflandırma: Planlanan iyileştirme opsiyonuna bağlı olarak ürünler kalitelerine ve izleyecekleri rotalara göre tasnif edilir. Sınıflandırma işlemi firmalara elden çıkarma kararlarını daha çabuk vermeleri için yardımcı olur. Böylece daha küçük çevrim zamanları elde edilir ve daha iyi müşteri tatmini oluşur.

Ayrıştırma: Tersine akışa dahil olan ürünlerin bir kısmı sınıflandırıldıktan sonra uygulanacak iyileştirme opsiyonu türüne göre, kullanılabilir durumdaki modüllerin alınarak iyileştirilmesi ya da çalışır durumda olmayan modüllerin yenileriyle değiştirilmesi, teknolojik yeniliklerin ilave edilmesi gibi nedenlerle ayrıştırma işlemine tabi tutulur.

Yeniden işleme: Bütün tersine lojistik sistemleri yukarıda bahsedilen faaliyetleri kısmen ya da tamamen içerir. Asıl farklılık yeniden işleme faaliyetinde meydana gelir. Yeniden işleme için aşağıda bahsedilecek tamir etme, ürün yenileme, yeniden imalat gibi pek çok farklı iyileştirme opsiyonu kullanılabilir.

Yeniden dağıtım: Geri kazanılan kullanılmış ürünler yeniden ileri akışa dahil olur.

Diğer taraftan Giuntinu ve Andel tersine lojistik yönetimini altı kısımda incelemişlerdir. Buna göre tersine lojistik, aşağıda sıralanan temel adımlar ile ifade edilebilir [Giuntinu ve Andel, 1995]:

Kabul: İç veya dış müşteriden geri kazanılacak ürünün alınmasıdır. Bu aşamada firmanın sipariş giriş veya muhasebe sistemlerinden faydalanılır.

Geri alım: Ürünün müşteriden fiziksel olarak taşınması aşamasıdır.

Gözden geçirme: Firmanın geri alınmış ürün ile ne yapacağına karar vereceği aşamadır. Firma ürünü fiziksel olarak inceler ve kendi yeniden üretilmiş ürün stoğunu gözden geçirir.

Yenileme: Geri dönen ürünün tamiri/işlenmesidir. Firma bu aşamada ürünü yeniden imal etmeyi, tamir etmeyi veya yeniden kullanmayı seçebilir.

Nakil: Ürün, organizasyonun tedarik zincirinde taşınır.

Değişim mühendisliği: Yönetimin, dönüş sürecinin daha iyi olması için tersine tedarik zincirini kontrol etmesi aşamasıdır.

3.3. Tersine Lojistikte Kullanılan İyileştirme Opsiyonları

3.3.1. Tamir etme

Tamir etmedeki amaç kullanılmış ürünü çalışır ya da yeniden kullanılabilir duruma getirmektir. Ürün garantisi kapsamında dönen ürünler tamir opsiyonuna örnek olarak verilebilir. Tamir edilmiş ürünün kalitesi genellikle yeni ürün kalitesine göre biraz daha düşüktür. Ürünün tamirat işlemi, kırılmış veya bozulmuş parçaların tamiri ve

değiştirilmesini içerir. Tamirat genellikle oldukça sınırlı düzeyde demontaj ve montaj gerektirir.

3.3.2. Ürün yenileme

Ürün yenilemenin amacı ise kullanılmış ürünü belirli bir kalite standardına ulaştırmaktır. Ancak kullanılmış ürün yine de ilk kalite standardını yakalayamaz. Genellikle pahalı ürünler ve kamu ürünlerinin geri kazanımında kullanılır. Kullanılmış ürün demontaj ile modüllerine ayrıldıktan sonra kritik modüller kontrol edilir ve gerekiyorsa değiştirilir. Uygun modüller yenilenecek ürüne monte edilir. Bazen ürün yenileme sürecinde eski modüller, teknik olarak daha iyi olan modüller ve parçalarla değiştirilir, yani teknolojik yenilikler ürüne kazandırılır. Askeri ve ticari uçaklar, yenileme sürecinden geçen ürünlere örnek olarak gösterilebilir. Ürün yenileme, ürünün kalitesini artırır ve ürünün ömrünü uzatır.

3.3.3. Yeniden imalat

Yeniden imalat parçaların temizlendiği, kontrol edildiği, ayrıştırıldığı ve imalatla yeniden kullanılabilir hale getirildiği bir süreç olarak tanımlanabilir. Yeni bir üründe kullanılmış bir tek parça bulunuyorsa bile ürün yeniden imal edilmiş olarak tanımlanır [Rochester Institute of Technology, 2000].

Yeniden imalatla, ürünler alt montaj parçalarına ayrıştırıldıktan sonra elde edilen parçalar aynı ürünün imalatında yeniden kullanılır. Otomobil parçaları yeniden imal edilen ürünlere örnek olarak verilebilir. Yeniden imalatın amacı, kullanılmış ürünü yeni ürünün kalite standartlarına uygun hale getirmektir. Kullanılmış ürün tamamıyla demonte edilir, tüm modüller ve parçalar kontrolden geçirilir. Aşınmış, eskimiş veya teknolojik olarak modası geçmiş parça ve modüller yenisi ile değiştirilir. Tamir edilebilir parça ve modüller onarılır ve testlerden geçirilir. Uygun parçalar, alt montaj parçaları ve modüller monte edilir. Yeniden imalat esnasında da üründe geliştirme sağlanabilir.

Yeniden imalat ortamında, geri dönen farklı ürünlerin değişik parçalarının yeni bir ürünün üretilmesinde kullanılması ve bunların dışarıdan satın alınan yeni parçalarla karışık olarak kullanılması mümkündür. Bu durum üretim ve planlama operasyonlarını oldukça karmaşık hale getirmektedir. Aşağıda imalat ve yeniden imalat ortamlarının karşılaştırılmasını gösteren bir çizelge verilmiştir [Guide ve ark., 2000].

Çizelge 3.1. İmalat ve yeniden imalat ortamlarının karşılaştırılması

Faktörler	Yeniden imalat ortamı	Geleneksel imalat ortamı
Çevre	• Fazla üretim atıklarını önlemeye çalışır	• Çevreye duyarlı tasarım ve üretim
Lojistik	• İleri ve geri akış • Geri dönüşlerin zamanı ve miktarında belirsizlik • Arza bağlı akış	• Açık çevrim ileri akış • Geri dönüş yok • Talebe bağlı akış
Üretim planlama ve kontrol	• Talepleri geri dönüşlerle dengeleme ihtiyacı • Malzeme kazanımında belirsizlik • Stokastik rota ve işlem zamanları • İmalat sistemleri üç önemli parçadan oluşur: ayrıştırma, yeniden imalat, yeniden montaj.	• Talepleri dengeleme ihtiyacı yok • Planlanan malzemelerde belirsizlik yok • Sabit rotalar ve daha stabil işlem zamanları • İmalat sistemleri iki önemli parçadan oluşur: fabrikasyon ve montaj.
Tahmin	• Kullanılmış ürün miktarının ve son ürün talebinin tahmini • Malzeme kazanım oranları belirsiz olduğundan parça ihtiyaçları tahmin edilmeli	• Sadece son ürün talebinin tahmini • Parçalar için tahmin yapma ihtiyacı yok
Satın alma	• Değişken kazanım oranlarına bağlı olarak oldukça belirsiz malzeme ihtiyaçları • Kullanılmış ürünler, parçalar ve bileşenler, yedek parçalar, bileşenler	• Malzeme ihtiyaçları deterministik • Ham maddeler, yeni parçalar ve bileşenler
Stok kontrolü ve yönetimi	• Kullanılmış ürünler, yeniden imal edilmiş parçalar, yeni parçalar, yeni ve yeniden imal edilmiş yedek parçalar, orijinal ekipmanlar • Bütün parça tipleri izlenmeli ve muhasebeleri tutulmalı	• Ham maddeler, süreç içi envanter, bitmiş ürünler • Yalnızca bitmiş ürün ve süreç içi envanterler izlenmeli ve muhasebeleri tutulmalı

Bu çalışmada geliştirilen modelde ürünlerin geri kazanımında yeniden imalat opsiyonu dikkate alındığından yeniden imalat, diğer iyileştirme opsiyonlarına nazaran daha ayrıntılı bir biçimde ele alınmıştır.

Neden yeniden imalat?

Yeniden imalat geri dönüşürmede olduğu gibi sadece malzemelerin yeniden kullanımına imkan tanımaz aynı zamanda ürün için harcanan enerji, iş gücü ve zamandan tasarruf sağlar. Bir ürünün içerdiği malzeme bitmiş ürün değerinin %5-10'unu oluşturur. Geriye kalan kısım ise o malzemeyi işlemekle meydana gelir [Rochester Institute of Technology, 2000]. Bir ürün geri dönüştürülürse, ürünün son halini alması için eklenen değerler geri kazanılamaz ancak yeniden imal edilirse ham maddelerin işlenmesi için eklenen değerler de geri kazanılabilir. Bu bakımdan yeniden imalat ürünün geri dönüştürülmesinden açık olarak daha karlıdır. Ayrıca kullanılması gereken enerjiyi de azalttığından yeniden imalatın çevreci etkisi de daha fazladır. Çevreye verilen zarar, yeniden imalat stratejisinin uygulanmasıyla oldukça azaltılmaktadır. Yeniden imalat kullanılabilir ham maddelerin miktarını artırmakta aynı zamanda çevreye bırakılan zararlı atıkların miktarını azaltmaktadır. Katı atık kullanımı arttıkça elden çıkarılan malzeme miktarı azalmakta böylece elden çıkarma maliyetlerinden tasarruf sağlanmaktadır. Kısaca yeniden imalat, çevrenin korunması, hava kirliliğinin azaltılması ve atık arazilerinin daha verimli kullanılması için anahtar kelimeyi oluşturmaktadır [Shah, 2005].

Ekonomik önemi

Amerika'da yürürlükteki pek çok kanunla imalatçılar yeniden imalata teşvik edilmektedir. Yeniden imalat endüstrisi küçüklü büyüklü 70 000 firmayı kapsayan ve 480 000 kişinin istihdam edildiği 53 milyon \$'lık bir endüstridir [Boston University, 2003].

Dünya çapında yeniden imalat sayesinde yıllık tasarruf edilen enerji miktarı bir yılda 5 nükleer güç santrali tarafından üretilen elektrik enerjisi miktarına eşittir. Ayrıca

yeniden imalat ile malzemeden tasarruf edilen miktar bir trenin boyu 1 100 mil olarak düşünüldüğünde 155 000 treni tamamen dolduracak malzeme miktarına eşittir [Rochester Institute of Technology, 2000]

Yeniden imal edilen ürünler

Yeniden imalat endüstrisi hızla büyümektedir. Günümüzde yeniden imal edilen ürünlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir [Shah, 2005]:

- Motor, vites kutusu gibi otomobil parçaları
- Yazıcılar
- Fotokopi makineleri
- Mobilyalar
- Dondurucular ve klimalarda kullanılan kompresörler
- Elektrikli aletler
- Kartuşlar
- Elektronik gitar gibi müzik aletleri
- Uçak parçaları
- Fırın parçaları
- Kumar masaları

Yeniden imalatatta kullanılan hammaddeler “kullanılmış ürün (core)” olarak tanımlanır. Kullanılmış ürünler kontrol edilerek yeniden imalat süreci için uygunlukları değerlendirilir. Uygun görülmeyenler düşük kar oranları ile ıskarta olarak satılır. Uygun ürünler ise ayrıştırılır, temizlenir ve yeniden çalışır hale getirilir. Daha sonra elde edilen parçalar yeni ürünlerin montajı için kullanılır. Yeniden imal edilen ürünler, yeni ham maddeler kullanılarak imal edilen yeni ürünlerle aynı özelliklere sahiptir. Onlardan farkı daha düşük üretim maliyetlerine katlanılarak üretilmiş olmalarıdır.

Yeniden imalat ve malzeme ihtiyaç planlama

Geleneksel MRP sistemleri yeniden imalat süreçleri için pek çok nedenden dolayı uygun değildir. Temel problemlerden birisi, geri dönen ürünlerin ayrıştırılması sırasında eş zamanlı olarak ortaya çıkan istenen ve istenmeyen parçaların arz ve talebinin uygunsuzluğudur. İkinci önemli problem, geri dönen parçanın yeniden kullanılması ya da dışarıdan alma kararının verilmesidir. Yeniden imalatla, yeni ürünler;

- Sadece geri dönen ürünlerden elde edilen parçalar kullanılarak (miktar belli değildir.)
- Sadece yeni satın alınan parçalar kullanılarak
- Kullanılabilirlik ve maliyet göz önüne alınarak geri dönen ürünlerden elde edilen ya da satın alınan parçalar kullanılarak imal edilebilir [Krikke, 1998].

Fleischmann ve arkadaşları geri dönen ürünü yeni hale getirmek için gereken tamir operasyonlarının ürünün durumuna bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Bu karar ancak birçok test ve ayrıştırma işlemi uygulandıktan sonra alınabilir. Bu yüzden geleneksel imalatının tersine yeniden imalatla iyi tanımlanmış üretim aşamaları sırası yoktur. Bu durum yeniden imalatın planlanmasını daha belirsiz bir hale getirmektedir [Fleischmann ve ark.,1997].

Bağımsız olan değişik parçalar ve alt montaj parçaları yüzünden yeniden imalatla iyi bir koordinasyon gerekir. Geri dönen ürünün ayrıştırılması tek parça için kaynak oluşturmaz, eş zamanlı olarak pek çok parça sağlar. Dahası, parçaların birçoğu aynı tamir tesisine ihtiyaç duyduğunda kapasite problemleri ortaya çıkar. Benzer problem yeni ürün imalatı ve kullanılmış ürün tamirinde ortak kullanılan ekipmanlar için de geçerlidir. Ayrıştırma ile eş zamanlı olarak elde edilen parçalar arasındaki bağımlılık ve pek çok tedarik kaynağı içinden seçim yapmak geleneksel MRP'deki basit yukarıdan aşağıya yaklaşımla halledilemez. Öncelikle kompleks ürün yapıları için

teknik ve ekonomik imkanlar göz önünde bulundurularak uygun ayrıştırma seviyesi seçilmelidir.

Yeniden imalat ortamında karşılaşılan zorluklar

Kullanılmış parça değeri

Kullanılmış parçaların kaliteleri kullanımlarına bağlı olarak belirgin bir şekilde değişiklik göstermektedir. Bu parçalar sınıflandırılarak yeniden imalat için uygunluklarının tespit edilmesi gerekmektedir. Kullanılmış parçaların özelliklerinin doğru olarak belirlenebilmesi oldukça zordur ve çoğu zaman kapsamlı bir araştırma gerektirir [Shah, 2005].

Yeniden imalat için tasarım

Birçok ürün sonrasında yeniden imal edilebilirliği göz önüne alınmadan tasarlanmaktadır. Karmaşık tasarımlar yeniden çalışılabilirlik için zorluklara neden olmaktadır. Ürünler tasarlanırken yeniden imal edilebilirlik göz önüne alınarak yeniden imalattan elde edilen verim artırılabilir [Shah, 2005].

Kullanılmış parça seçimi

Daha öncede belirtildiği gibi bütün kullanılmış parçaların kalite durumu aynı seviyede değildir. Kullanılmış parçalar yeniden imalat sürecine dahil olmadan önce genellikle temizleme, tamir etme gibi işlemlere tabi tutulmaktadır. Bu bakımdan kullanılmış parçaların yeniden imalatı için gereken işlemler farklı olduğundan gerekli süreler de farklılık arz etmektedir.

Diğer taraftan herhangi bir üretim sisteminde son ürün talebi genellikle belirsizdir. Üretim süreci, bitmiş ürünlerin talebine bağlı olduğundan kullanılmış parçaların kullanılması da bitmiş ürün talebine bağlıdır. Burada önemli bir karar noktası üretime dahil edilecek olan kullanılmış parçanın firma karını en büyükmek üzere

belirlenmesidir. Talebin çok yüksek olduğu zamanlarda firmalar kullanılmış parçaları kullanmak yerine yok satma maliyetine katlanmamak için yeni parçalar kullanarak ürün montajı yapmaktadır. Bu durum da ham madde seçimini zorlaştıran bir diğer unsuru oluşturmaktadır [Shah, 2005].

Teknik olmayan diğer konular

Yukarıda bahsedilen teknik konuların dışında hükümetlerin yürüttüğü farklı politikalar nedeniyle yeniden imalatla karşılaşılacak değişik sorunlar oluşmaktadır. Hükümetlerin farklı bölgelerde teşvikler uygulaması buna örnek olarak verilebilir.

Bir diğer problem de yeniden imalatın müşteriler arasındaki popülerliğidir. Bazı müşteriler yeniden imal edilmiş ürünleri tercih etmemektedir. İstatistikler tüketicilerin % 50'sinin yeniden imal edilmemiş üründen %20 ucuz olması durumunda yeniden imal edilmiş ürünleri tercih ettiğini göstermektedir [Rochester Institute of Technology, 2000].

3.3.4. Parça alma (Cannibalization)

Diğer iyileştirme opsiyonlarında kullanılmış ürünün büyük bir kısmı yeniden kullanılmaktayken parça alma işleminde ürünün sadece ufak bir kısmı yeniden kullanılır. Amaç, kullanılmış ürün veya bileşenden, kullanılabilir sınırlı bir dizi parçanın geri alınmasıdır. Bu parçalar başka ürün veya bileşenlerin tamir, yenileme veya yeniden üretimde tekrar kullanılır.

3.3.5. Yeniden kullanım

Geri dönen ürünlere ait bazı modüller oldukça kıymetlidir ve yeniden kullanılması ya da ikincil pazarlarda yeniden satılması söz konusu olabilmektedir. Diğer taraftan konteynir, şişe, palet gibi yeniden kullanılabilir parçalar az miktarda yeniden işleme (temizleme, muayene gibi) gerektirmektedir [Fleischmann ve ark., 2000]. Yeniden imalatla farklı olarak yeniden kullanma işlemi için parçaya ya çok az değer

eklenmekte ya da hiç eklenmemektedir. Yeniden kullanılan ürünün kalitesi düşse de bu durum genellikle performansı etkilememektedir. Ayrıca müşteri orijinal ürünle yeniden kullandığı ürün arasındaki farkı seçememektedir. Yeniden kullanım da tıpkı yeniden imalat gibi geri dönüştürme işlemi ile karşılaştırıldığında bazı araştırmacılar tarafından daha karlı olarak değerlendirilmektedir [Klausner ve Hendrickson, 2000].

3.3.6. Geri dönüşüm

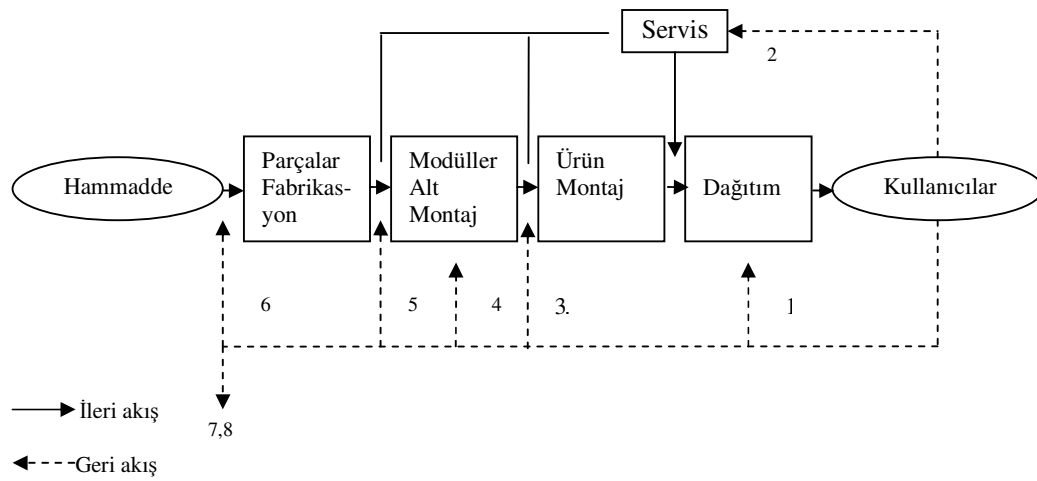
Yukarıda bahsedilen ürün geri alım opsiyonlarında amaç, kullanılmış ürünlerin ve bileşenlerin fonksiyonlarının ve özelliklerinin mümkün olduğunca korunmasıdır. Geri dönüşümde ise, ürün ve bileşenlerin özellik ve fonksiyonları kaybolur. Geri dönüşümün amacı, kullanılmış ürün ve bileşenlerin malzemelerinin yeniden kullanılabilmesidir. Geri dönüşüm çok sayıda kullanılmış ürüne uygulanmaktadır. Plastik ürünler geri dönüştürülerek geri kazanılan ürünler arasındadır. Diğer taraftan ABD, İngiltere, Almanya gibi birçok ülkede ıskartaya çıkmış araba ağırlığının %75'ini oluşturan neredeyse tüm metal parçaları, geri dönüşüme tabi tutulmaktadır.

3.3.7. Elden çıkarma

Günümüzde imalatçılar ekonomik nedenlerden dolayı hayat çevrimini tamamlamış ürünleri % 100 elden çıkarmak yerine, ayrıştırarak yeniden imal edebilmekte hatta bazı parçalarını doğrudan yeniden kullanabilmektedirler. Yani elden çıkarma hiçbir geri dönüştürme opsiyonu uygulanmadığı durumlarda atıklardan kurtulmak için başvurulan bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Elden çıkarma işlemi kullanılmış ürünleri yakarak ya da gömerek yapılabilir. Tersine lojistiğin amacı ürün ya da malzemeleri yeniden kullanarak atık miktarının minimize edilmesidir ancak atıkların her zaman değerlendirilmesi mümkün olamayabilmektedir. Bütün geri dönüştürme yöntemleri, operasyonlara ve bununla ilişkili olarak elden çıkarma maliyetlerine katlanmayı gerektirir. Bu maliyetler, yöntem seçimini etkileyen en önemli unsurlardan birini oluşturur. Literatürde çok kez ele alınan konulardan birisi atıkların zararlı olup olmadığıdır. Zararlı atıklar çevreyi daha fazla tehdit ettiğinden zararsız olanlardan daha ciddi bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Atık iyileştirme ve

elden çıkarma konusunda uzmanlaşan firmalar bulunmaktadır. Yeniden kullanılamayan ürünler bu firmalara gönderilerek elden çıkarılabilmektedir. Kullanılan iyileştirme yöntemi ve atık tipine göre elden çıkarma maliyeti değişmektedir. Zararlı atıkların elden çıkarılması daha pahalıya mal olmaktadır.

Yukarıda bahsedilen tersine lojistikte kullanılan opsiyonların tamamı şekil 3.1’de toplu halde gösterilmiştir.



1. Yeniden kullanım (reusing)	5. Parça alma (cannibalization)
2. Tamir (repair)	6. Geri dönüşüm (recycling)
3. Ürün Yenileme (refurbishing)	7. Yakma (incineration)
4. Yeniden İmalat (remanufacturing)	8. Gömme (Landfilling)

Şekil 3.1. Ürün geri alım opsiyonları [Thierry ve ark. 1995]

3.4. Tersine Lojistiğin Amaçları

Firmaları tersine lojistik uygulamalarını sistemlerine dahil etmeye yönlendiren pek çok tetikleyici unsur bulunmaktadır. Bu unsurlar aşağıda üç temel kategori halinde sınıflandırılmıştır [Brito ve Dekker, 2002]. Tersine lojistik firmalar için çoğunlukla bu faktörlerin bir karması olarak ortaya çıkmaktadır.

Ekonomik amaçlar: Tersine lojistik firmalara maliyetleri azaltarak, malzeme kullanımını düşürerek, değerli yedek parçalara kaynak oluşturarak ve elden çıkarma maliyetlerini azaltarak doğrudan kazanç sağlamaktadır. Geri dönmüş üründen yeniden imalat, hem hammadde ve değer kazanımı, hem de daha az enerji tüketimi gerektirmesi sebebi ile daha karlıdır. Öte yandan tersine lojistiği sistemlerine dahil eden firmalar, kazandıkları çevreci imajı, artan müşteri ilişkileri, zamanla daha da artması beklenen kanuni baskılara uyum sağlama gibi fırsatları yakalayarak tersine lojistiğin dolaylı kazançlarından da yararlanabilmektedir. İşletme, stratejileri, pazar ve rekabet koşulları gibi nedenlerle tersine lojistik içinde yer alabilir. Firmalar, gelecekteki kanunlara hazırlanmak üzere stratejilerini bu yönde oluşturabilirler. Rekabet açısından, diğer firmaların teknolojiyi almasını veya pazara girmesini engellemek için uzun dönemde tersine akışı sistemlerine dahil etme kararı alabilirler.

Kanunlar: Atık arazilerinin kapasitelerinin azalması, insanların doğaya verdikleri zararların sonuçlarının artık daha belirgin bir şekilde yaşanıyor olması gibi nedenlerle firmaların ürettikleri ürünleri geri toplamaları ve iyileştirmeleri konusundaki kanuni baskılar her geçen gün artmaktadır. AB ülkelerinde (2003) ve Çin’de (2007) paket malzemelerinin ve bataryaların toplanması ile ilgili çıkarılan kanunlar bunlardan sadece ikisini oluşturmaktadır.

Artan Sorumluluklar: Ürün geri toplama programları uygulayan firmalar müşterilerle daha yakın ilişler kurarak daha fazla müşteriye etkilemekte ve daha fazla potansiyel gelir elde etmektedir. Cole ayakkabıları ile Hanna Anderson giyim ürünlerinin eskilerini getiren müşterilerine %20 oranında iskonto yapması, benzer şekilde Nike firmasının müşterilerini eski ayakkabılarını getirmeye teşvik etmesi ve bunları topluma açık basketbol sahalarının ve koşu yollarının yapımında kullanması toplumsal sorumluluklarının bilincinde olan firmalara artan müşteri ilgisinin nedenini oluşturmaktadır.

3.5. Tersine Lojistik Uygulamaları

Metal, kağıt ve cam şişeler için kullanılan ürünlerin geri kazanımı, yok edilmesine kıyasla daha ekonomiktir. Bu ürünler, ürün geri kazanımlarının ilk örneklerini teşkil etmektedir. Lund yaptığı çalışmada Amerika’da 73 000 firmanın iyileştirme faaliyetlerinin herhangi bir biçimini kullandığını belirtmiştir [Lund, 1996]. Son yıllarda çevresel kaygılar da, yeniden kullanıma olan ilgiyi artırmıştır. Avrupa’da otomobil, elektronik gibi birçok ürünün toplanması sorumluluğu üreticilere verilmiş durumdadır. Yasal baskılar ile birçok ülkede ulusal toplama ve geri kazanım sistemleri kurulmaktadır. Örneğin Hollanda’da otomotiv sektöründe, trafik kazalarında zarar görmüş otomobillerin %90’ında işleyecek ulusal bir sistem başarıyla uygulanmaktadır [Hillegersberg ve ark., 2001].

Ürün geri alımının en belirgin örneği, otomotiv endüstrisinde yaşanmaktadır. ABD’de camın %20’si, kağıt ürünlerinin %30’u ve alüminyum kutuların %61’i geri dönüştürülürken, 10 milyon araba ve kamyonun her yıl %95’i geri dönüşüme girmekte ve bu araçların %75’i yeniden kullanım için geri kazandırılabilir [Gungor ve Gupta, 1999]. İşletmeler, değişen koşullara ayak uydurabilmek için tersine lojistik stratejileri geliştirmekte ve uzun dönemli planlarını buna göre yapmaktadırlar. Örneğin, BMW’nin stratejik amacı, 21. yüzyılda tamamıyla geri kazanılabilir otomobiller tasarlamaktır [Dowlathshahi, 2000]. Tersine lojistik, otomotiv endüstrisi dışında, çelik, elektronik, bilgisayar, kimya, ilaç ve tıbbi araçları da içeren birçok endüstride kullanılmaktadır. Tersine lojistik faaliyetleri uygulayan büyük firmalar arasında BMW, Delphi, DuPont, General Motors, HP sayılabilir. Lojistik maliyetleri ABD ekonomisinin yaklaşık % 9.9’unu oluşturmaktadır. Ancak tersine lojistik faaliyetlerinin tutarını tam olarak belirlemek, firmalar tersine lojistik faaliyetlerini yeterince takip etmediklerinden, oldukça güçtür. Tersine lojistik maliyetlerinin, toplam lojistik maliyetlerinin yaklaşık % 4’ü kadar olduğu tahmin edilmektedir [Rogers ve Tibben-Lembke, 2001]. Bu durumda tersine lojistik maliyetlerinin, ABD GSMH’sının yüzde 0.5’i kadar olduğu söylenebilir. Yapılan araştırmalar tersine lojistik faaliyetlerinin pazar değerinin 1997 yılında yaklaşık 35 milyon \$ civarında olduğu, 2000 yılında ise 80 milyon \$’a ulaştığını göstermektedir.

Genel harcama düzeyi, sektöre, firmanın zincirdeki pozisyonuna ve kanal seçimine göre değişse de, tersine lojistik faaliyetlerinin ekonomide önemli bir rolü olduğu ve öneminin daha da artacağı bilinmektedir. Bazı sektörlerde tersine lojistik diğerlerinde olduğundan çok daha büyük bir öneme sahiptir. Ürünün değerinin en fazla olduğu ya da geri dönüşüm oranının en yüksek olduğu sektörlerdeki tersine lojistik faaliyetlerini iyileştirmek için çok daha fazla çaba harcanmaktadır. Otomobil sektörü bunun için iyi bir örnektir. Tersine lojistiğin önemi firmanın dağıtım kanalındaki yerine göre de değişmektedir. Aşağıda bazı sektörlerdeki geri iade oranları yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Örnek geri dönüş oranları [Rogers ve ark., 1999]

Sektör	Yüzde
Dergi yayınlama	%50
Kitap yayıncıları	%20-30
Kitap dağıtıcıları	%10-20
Kartpostallar	%20-30
Katalog perakendecileri	%18-35
Elektronik ortam dağıtıcıları	%10-12
Bilgisayar üreticileri	%10-20
CD-ROM'lar	%18-25
Yazıcılar	%4-8
Mektupla sipariş alan bilgisayar üreticileri	%2-5
Kitle üretimi yapanlar	%4-15
Otomobil endüstrisi (parça)	%4-6
Tüketici elektroniği	%4-5
Ev içi kimyasalları	%2-3

Malların geri dönüşümü büyük bir getiri kaynağıdır. Bunun daha sık yapılabilmesi, dünyadaki kaynakların çok daha verimli bir şekilde kullanımını ve refahı da beraberinde getirme potansiyelini taşımaktadır.

Yapılan bir araştırma yılda 60 milyon kitabın geri döndüğünü, dönen kitapların sektörde 100 milyon avroluk bir değere sahip olduğunu göstermiştir. Dönen 60 milyon kitabın % 80'i zarar görmüştür ve karmaşık ve masraflı operasyonlar gerektirmektedir [Matthews, 2002]. Diğer bir araştırmaya göre, Amerika'da 2005 yılında yaklaşık 15 milyon hayat çevrimini tamamlamış bilgisayar 1 milyon \$'lık bir harcama ile atık arazilerine gönderilmiştir. Bu sonuç, birçok imalatçıyı işlemci, güç kaynağı, batarya, yazıcı, kartuş gibi parçaları geri dönüştürme çabası göstermeye teşvik etmiştir. Örneğin, Dell ve Apple firmaları uyguladıkları iyileştirme programı vasıtasıyla kullanılmış bilgisayarlarını müşterilerden toplatmaktadır. HP firması da benzer şekilde uyguladığı 'Gezegen Dostu Program' sayesinde kullanılmış bilgisayarları geri kazandırmaktadır.

Aralarında Xerox gibi firmalarında bulunduğu pek çok uluslararası firma ürün geri dönüştürme faaliyetlerine dahil olmaktadır. Xerox, bu yolla yıllık 20 milyon \$'lık maliyet tasarrufu elde etmektedir [Motavalli, 1997].

Xerox fotokopi makineleri ve kartuşları yeniden imal ederken Deere firması ise diesel motorları ve motor parçalarının yeniden imalatını gerçekleştirmektedir. Firmanın yeniden imal edilen motorların satışından elde ettiği gelir 1996 yılında 2,5 milyon \$'ı aşmıştır. IBM, Avrupa'da pek çok iyileştirme faaliyetine katılarak karlılığını artırmakla kalmayıp çevreci imajı kazanan diğer bir firmadır [Germans, 1996].

3.6. Tersine Lojistiğin Faydaları

Tersine lojistiği zincirlerine dahil eden firmalar günümüzün zor rekabet şartlarına uyum sağlama konusunda diğer firmalara göre birkaç adım öndedir. Tersine lojistik ile gün geçtikçe bilinçlenen müşterilerin beklentilerini karşılamanın yanında aşağıda değinilen daha pek çok fayda sağlanabilir [Patel, 2006].

Artan müşteri tatmini: Satış sonrası hizmetler, garanti.

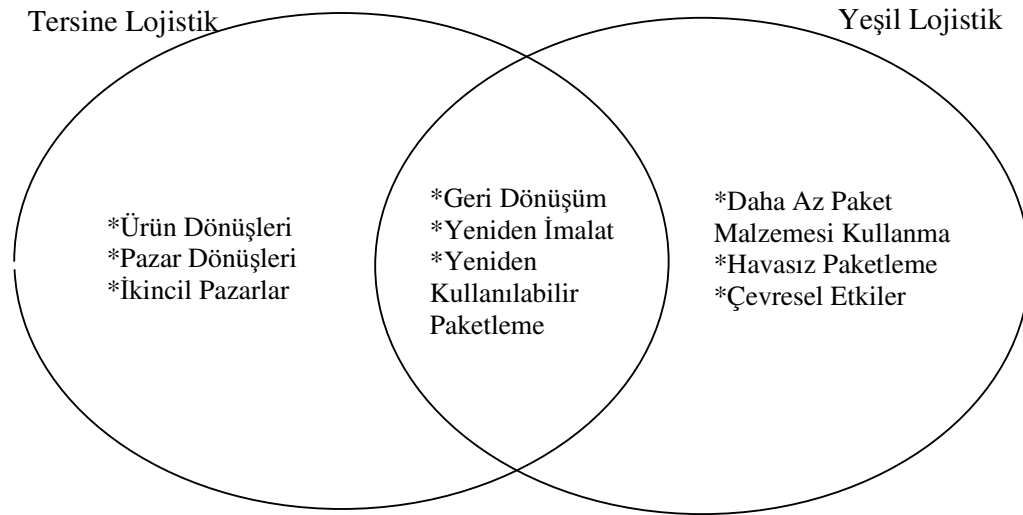
Artan değer kazanımı: Maksimum düzeyde atık iyileştirilmesi.

Azalan maliyetler: Geri dönüşüm.

Artan çevre duyarlılığı: Atık dönüşümü, zararlı atıkların yönetilmesi.

3.7. Tersine Lojistik ve Yeşil Lojistik

Tersine lojistik, genellikle yeşil lojistikle karıştırılmaktadır. Doğal kaynakların kıtlığı ve kötüleşmesi tehdidi firmaların iş yaparken çevreci alternatifler ve ekolojik yollar bulma gereksinimini artırmıştır. Bazı ülkelerde bununla ilgili kanunlar çıkarılmıştır. Tersine lojistik genellikle yeşil lojistik kapsamında yanlış yorumlanmaktadır. Daha az malzeme kullanmak veya taşımadan kaynaklanan enerji kullanımını ve kirliliği azaltmak için paketlerin yeniden tasarlanması önemli konulardır fakat bunların yeşil lojistik konusu içerisinde ele alınması daha doğru olur. Geriye doğru bir mal ya da malzeme taşınmıyorsa bu, tersine lojistik faaliyeti olamaz. Tersine lojistik ve yeşil lojistik kavramlarının karıştırılmasının nedeni tersine lojistik faaliyetlerinin büyük bir kısmının yeşil lojistiğin alanına girmesidir. Aşağıdaki şekilde tersine lojistik ve yeşil lojistiğin bir karşılaştırması yapılmıştır.



Şekil 3.2. Tersine lojistik ve yeşil lojistik [Rogers ve Tibben-Lembke, 2001]

3.8. Tersine Akış Nedenleri

Lojistik faaliyetleri tedarik zincirindeki malzemelerin ileri doğru akışını içerirken, tersine lojistik, ürünlerin yeniden kullanılabilir bir hale getirilmesi amacıyla kullanıcılarından başlayan geri akışı konu edinir [Fleischmann ve ark., 1997]. Hem firma içi hem de firma dışında söz konusu olan geri akışlar tersine lojistiğin konusudur. Bunların dışında raf ömrünü tamamlayan ürünlerle ham maddelerin geri akışları tersine akışa örnek olarak verilebilir. Bunlar için akış başlangıcı firma içi stoklar, müşteriler ya da dağıtım merkezleri olabilir. Firmalarda yanlış üretim politikaları istenmeyen fazla ürün oluşumuna neden olabilir. Ayrıca dağıtım merkezleri satılmayan ürünleri yeniden firmaya gönderebilir.

Tersine lojistik kapsamında gerçekleşen geri akışın başlangıç ve bitiş noktaları ile ara birimler aşağıdaki çizelgede toplu halde verilmiştir.

Çizelge 3.3. Tersine lojistik sistemlerde yer alan birimler [Brito ve ark., 2002]

Dönüş Kaynakları	Alış Kaynakları	Toplama/İşleme merkezleri
• Tedarikçiler • İmalatçılar • Dağıtım merkezleri • Toptancılar • Perakendeciler • Tüketiciler	• Tedarikçiler • İmalatçılar • Dağıtım merkezleri • Toptancılar • Perakendeciler	• Bağımsız kuruluşlar • Geri kazanım tesisleri • Tersine lojistik servis sağlayıcılar • Belediyeler • Toplumsal kuruluşlar

Ürün, bileşen, ekipman ve materyallerin tersine lojistiğe konu olma nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [Brito ve ark., 2002]:

Üretim dönüşleri: Yeterli olmayan kalite, fazla üretim gibi sebeplerle geri dönüşler olabilir.

Ürün geri çağırma: Bazen hatalı ürünler ancak, ürün tedarik zincirine girdikten sonra fark edilebilir ve zincirden geri çağırılır.

Ticari dönüşler: Bazı ticari anlaşmalara dayalı geri gönderimler veya zamanlama ve ürün kalitesi açısından talep ve tedarığın eşleşmemesi durumunda oluşan dönüşler.

Garanti ve servis dönüşleri: Garanti kapsamında ürünler tamir veya eşdeğeri ile değiştirilmek üzere geri dönebilir.

Kullanım sonu (end-of-use) ve ömür sonu (end-of-life) dönüşleri: Ürünün kullanım veya ömrü sonunda yeniden üretim, geri dönüşüm veya uygun şekilde yok edilmesi amacıyla oluşan dönüşlerdir.

Tersine akışa yukardaki nedenlerden dahil olan ürünler seri sonu mağazalarda ya da ikinci el pazarlarda satılabilir. Ürün; tipi, kalitesi, maliyet gibi unsurlar dikkate alınarak ürün geri kazanım opsiyonlarından biri kullanılarak iyileştirilebilir, vakıflara bağışlanabilir ya da bütün bu alternatiflerin değerlendirilemediği durumlarda bertaraf edilerek elden çıkarılabilirler.

3.9. Tersine Lojistiğin Özellikleri

Tersine lojistik sistemlerin yönetimi ve planlanmasını zorlaştıran bazı özellikleri şunlardır [Patel, 2006]:

Belirsiz malzeme akışı: Genellikle firmalar bir parçanın ne zaman geri döneceğini ya da elden çıkarılacağını bilmemektedir.

Belirsiz kalite ve dönen ürünlerin çeşitliliği: Firmalar rassal ve geniş yelpazeli ürün çeşitliliği ve bunların farklı kalite seviyelerinde geri dönüşü ile karşı karşıyadır.

Müşteri bağımlılığı: Ürünlerin geri dönüşü büyük ölçüde son kullanıcıya bağımlıdır.

Zaman: Malzeme rotaları deterministik değildir ve kalite seviyelerinin değişken olmasına bağlı olarak işlem süreleri stokastiktir.

Belirsiz pazar talebi: İkincil pazarların fiyat ve talebi belirli değildir.

Tersine lojistiğin bu özellikleri, bir bakıma ilerleyen bölümde incelenecek olan tersine lojistiğin ileri lojistik sistemlerinden farklı ve karmaşık yönlerini ortaya koymaktadır.

3.10. Tersine Lojistik Sistem İhtiyaçları

Tersine lojistik sistemlerin yukardaki bahsedilen karakteristikleri, bu sistemlerin etkili bir şekilde yönetilmesi, planlanması ve kontrolü için geleneksel sistemlerden farklı bazı unsurları gerekli kılmaktadır. Etkili bir tersine lojistik sistemi geliştirebilmek için bu tür sistemler stokastik özellik gösterdiğinden birçok sistem ihtiyacı belirlemektedir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [Patel, 2006]:

- Özel toplama merkezleri; farklı çeşitteki ürün tiplerini toplamak için etkin çalışan toplama merkezlerine gerek vardır.
- Sınıflandırma sistemi; çok çeşitli ve farklı kalite seviyelerindeki ürünleri sınıflandırmak için gereklidir.
- Envanter politikası; Tersine akıştaki belirsizliklerle mücadele edebilmek için esnek bir envanter sistemine ihtiyaç duyulur.
- Çizelgeleme politikası; çevreye verilen zararı en aza indirebilmek ve bir an önce geri kazanımı sağlayabilmek için öncelik temelli çizelgeleme politikası uygulanması gerekir.
- Bilgi akışı; geri dönüş sürecini ve izleme maliyetlerini yönetebilmek için çok etkin bir bilgi akışı gerekmektedir. Ürün geri alım sürecinde, firmanın ürün geri alım opsiyonlarını bilmesi oldukça önemlidir. Ancak bu analizin doğru yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan bazı bilgilere ulaşılması gerekmektedir. Tedarik zinciri içindeki ilgili

tüm birimlerin katılımı ile, aşağıdaki şekilde dört sınıfta toplanabilecek bilgilerin edinilmesi gerekmektedir [Thierry ve ark., 1995]:

Ürünün bileşimi hakkında bilgi: Malzeme tipleri, değerleri, potansiyel zararları hakkındaki bilgilerdir. Farklı ürün geri alma opsiyonlarının teknik olarak yapılabilirliklerinin de bilinmesi gerekir.

Dönüş akışının şiddeti ve belirsizliği hakkında bilgi: Üreticiler, geri dönüşlerin şiddeti ve belirsizliğini belirlemek durumundadır. Her geri akış, farklı özellikte olacaktır.

Yeniden işlenmiş ürün, bileşen ve malzemelerin pazarı hakkında bilgi: Ürün geri alımında üretici, potansiyel pazarları da gözden geçirmelidir. Ürün ve malzemeler, firmanın kendisi tarafından, zincirdeki başka bir firma tarafından (örneğin tedarikçi) veya zincir dışındaki bir firma tarafından kullanılacak olabilir.

Gerçekleşen ürün geri alımı ve atık yönetimi operasyonları hakkında bilgi: Her bir geri alım ve atık yönetimi opsiyonunda ne miktarda ürün işlendi? Maliyet ve kazançlar nelerdir? Bütünsel sürecin çevreye etkisi nedir? şeklindeki sorulara cevap verilmesi gerekir.

- Esneklik; kapasite, işleme, taşıma gibi unsurlar açısından oldukça esnek sistemler tasarlanmalıdır.
- Koordinasyon; sisteme dahil olan çok sayıda birimin koordinasyonu sağlanmalıdır.

3.11. İleri ve Tersine Lojistik

Lojistik yönetimi malzeme ve bilginin karmaşık bir ağ boyunca orijin noktasından (tesisler), tüketim noktasına (müşteriler) etkili ve düşük maliyetli bir biçimde akışı ile ilgilendir. Bu sistemlerde ürünler çeşitli lokasyonlarda üretilir, buradan geçici

olarak depolanmak üzere depolara ya da dağıtım merkezlerine taşınır, daha sonra buradan alınan ürünler müşterilere ya da perakendecilere transfer edilir.

İleri lojistikte önemli bir varsayım tedarik zincirine giren malların hiçbir zaman imalatçıya geri dönmüyor olmasıdır. Burada malların elden çıkarılmasından müşteri sorumludur. Ancak bu varsayım günümüzde geçerli değildir. Dünya üzerindeki pek çok hükümet, hayat çevrimini tamamlamış ürünlerini elden çıkarmaları için firmaları zorlamaktadır. Avrupa'daki ülkeler bu tür kanunların uygulandığı ülkelerin arasında ilk sıralarda yer almaktadır. İlk olarak Avrupa'da ilgi görmesine rağmen tersine lojistiğin önemi ve uygulamaları her geçen gün artmaktadır. Firmalar tersine lojistiğe olan ilgilerini artırdıkça tersine lojistiğin sadece maliyetlerden ibaret olmadığını ekonomik fırsatları da doğurabileceğini kavramışlardır. Artık imalatçılar hayat çevrimini tamamlamış ürünleri %100 elden çıkarmak yerine, ayrıştırarak yeniden imal edebilmekte hatta bazı parçalarını doğrudan yeniden kullanabilmektedirler.

Tersine lojistik, kapalı çevrim tedarik zincirinin bir parçasıdır. Bir tersine lojistik sistemi yeniden imalat, geri dönüşüm ya da elden çıkarma işlemlerinden elde edilen ürün veya parçaların akışının etkili bir biçimde yönetilmesi ve kaynakların etkili bir biçimde kullanılması için tasarlanan bir tedarik zincirini tanımlar [Dowlatshahi, 2000]. Bu sistem tedarik zinciri üyeleri arasında malların ve malzemelerin ters yönde dağıtımını içerir.

İşletmelerin tersine lojistik faaliyetlerini uygulayabilmeleri için mevcut sistemlerinde, süreçlerinde ve karar alma aşamalarında yeniden düzenlemeler yapmaları gerekmektedir. Düzenlemeler gerektiren bu alanların tümü, başlı başına çözülmesi gereken problemler olarak işletmelerin karşısına çıkmaktadır. Tersine lojistiğin uygulandığı ve üreticiye geri dönen ürünlerin geri kazanımının sağlandığı üretim ortamlarında, geleneksel üretim sistemlerinde de olduğu gibi, üretim, stok, dağıtım ve pazarlamaya ilişkin kararların alınması gerekmektedir.

Aşağıda tersine lojistik ile ileri lojistiğin öncelikli bazı genel özellikleri açısından bir karşılaştırılması yapılmakta, ardından gerekli açıklamalar verilmektedir. İleri ve

tersine lojistik hakkındaki bu farklılıkların bilinmesi firmalara ve araştırmacılara uygun tersine lojistik operasyonları tasarlamalarında kolaylık sağlayacaktır.

Çizelge 3.4. İleri ve tersine lojistiğin karşılaştırılması [Tibben-Lembke ve Rogers, 2002]

İleri Lojistik	Tersine Lojistik
Tahminler göreceli olarak açık/belirgindir.	Tahminler daha zordur.
Nakliye birden çoğa doğrudur.	Nakliye çoktan bire doğrudur.
Ürün kalitesi standarttır.	Ürün kalitesi standart değildir.
Ürün paketlenme bir örnektir.	Ürün paketi çoğunlukla zarar görmüştür.
Gidilecek yer/rota bellidir.	Gidilecek yer/rota belirli değildir.
Kanallar standartlaştırılmıştır.	İstisnalarla yönetilir.
Fiyat genellikle standarttır.	Fiyatlama birçok faktöre bağlıdır.
İleri dağıtım maliyetleri muhasebe sistemi ile yakından takip edilir.	Tersine lojistik maliyetleri daha az belirgindir.
Stok yönetimi tutarlıdır.	Stok yönetimi tutarlı değildir.
Taraflar arası anlaşmalar açık ve anlaşılırdır.	Taraflarla anlaşmalar ilave varsayımlar sebebi ile daha karmaşıktır.
Pazarlama metotları bellidir.	Pazarlama, pek çok faktörün etkisiyle daha karmaşıktır.
Ürünü izlemek için gerçek zamanlı bilgilere ulaşılabilir.	Süreçlerin izlenebilirliği daha azdır.

Dönüş miktarları çoğu zaman talep miktarlarına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden talep tahminlerindeki sapmalar geri dönüşlere ilişkin tahminlerin geçerliliğinden uzaklaşmalara neden olmaktadır. Tersine lojistik, içerdiği belirsizlikler sebebi ile tahminler, planlamalar ve kontroller yapılması daha zor bir akış türüdür. Geri dönen ürünün miktarı ve zamanlaması hakkında belirsizlikler bulunmakta, dahası firmanın ürettiği her ürün için farklı bir dönüş oranı geçerli olmaktadır. Diğer taraftan, bazı ikincil pazarlara ilişkin bilgi yetersizlikleri de bu pazarlardaki alıcı sayılarının tahmin edilmesini zorlaştırmaktadır.

İleri lojistikte akış bir orijin noktasından birçok dağıtım noktasına doğru olurken, tersine lojistikte bunun tersi geçerlidir. Geri dönüşler perakendeciler aracılığı ile de gerçekleşebilmekte ancak, ileri ve tersine lojistiğin bazen aynı dağıtım noktalarına sahip olması, bunların bütünleştirilebileceği anlamına gelmemektedir.

İleri lojistikte ürün ve paketleme kalitesi belirli ve aynıdır, bu da taşımayı kolaylaştırır. Ancak, geri dönüşlerde ürünler tam olarak paketlenmemiş olabilir. Aynı zamanda, dönen ürünler, giden yeni ürünler kadar büyük miktarlarda olmadığından, bunlar için taşımayı kolaylaştırıcı paketlemeler (paletler, konteynırlar) kullanılamamaktadır. Paketlemenin olmaması veya düzgün ve aynı şekilde olmaması, ürünün üretici firma ve işleyecek personel tarafından tanımlanmasını da zorlaştırmaktadır.

Geri dönen ürünün kalitesi standart olmadığından tedarikçi, müşterilere satın aldıkları ürün miktarı ve diğer birçok faktöre bağlı olarak farklı fiyatlar uygulayabilir. İleri lojistikte maliyetler tanımlanmıştır ve belirlidir. Muhasebe sistemleri, ileri akış kanalı boyunca gerçekleşecek maliyetleri izleyecek şekilde geliştirilmiştir. Ancak, tersine lojistikte farklı maliyetler, ileri lojistikten farklı şekilde ortaya çıkacaktır. Çizelge 3.5, ileri ve tersine lojistik maliyetlerinin karşılaştırmasını yapmaktadır.

Çizelge 3.5. Tersine lojistikte maliyet düzeyi [Tibben-Lembke ve Rogers, 2002]

Maliyet kalemleri	İleri lojistikle karşılaştırılması
Taşıma	Daha yüksektir.
Stok bulundurma maliyeti	Daha azdır.
Fire/kayıp	Çok azdır.
Eskime	Daha yüksek olabilir.
Toplama	Çok yüksek-daha az standartlaştırılmış.
Sınıflama/kalite tanımlama	Çok daha yüksek.
Yenileme/yeniden paketleme	Tersine lojistik için önemlidir, ileri lojistikte yoktur.

Tersine lojistikteki en önemli maliyetlerden biri, taşıma faaliyetlerine ilişkin maliyettir. Taşınan miktarın az olması ve paketlemenin düzgün olmaması taşıma maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Stok bulundurma maliyeti ise değişkendir, paketlemenin düzgün olmaması, bozulmalar ve mevsimsel dalgalanmaların olması ürünün ikinci el pazarlarındaki değerini düşürebilmektedir.

Geleneksel stok kontrol yöntemlerinde geçerli olan varsayımların çoğu, tersine lojistik sistemlerinde uygulanamamaktadır. Tersine lojistik kanalındaki ürün girişi, satış fiyatı, talep gibi değişkenlerin belirsizliği ortamın belirsizliğini artırmaktadır.

İleri lojistikte, tedarik zincirindeki taraflarla yani tedarikçi ve satıcı ile anlaşmalar yapılması daha kolaydır. Ancak tersine lojistikte ürünün bir örnek olmaması, miktar ve fiyat belirsizliği, talep değişkenliği gibi sebeplerle anlaşmalar daha karmaşık olacaktır.

Tersine lojistikte akışın izlenmesi, ileri lojistiğe kıyasla daha güç olmaktadır. Çünkü firmaların bilişim sistemleri, geri dönüşleri takip edecek şekilde tasarlanmamaktadır. Bu da ürün gelişlerini takip etmeyi zorlaştırmakta, kısa dönemli operasyon planları yapılmasını bile oldukça güç kılmaktadır. Merkezi toplama sistemlerinde uygun bilişim sistemlerinin kullanılması planlayıcıların daha uzun dönemli ve etkin planlar yapmasını sağlayacaktır.

3.12. Tersine Lojistik Ağı Tasarımı

İleri lojistik ağında bulunanlardan farklı olarak tersine lojistik zincirinde daha fazla birim yer almaktadır. Tersine akış içeren tedarik zinciri, ileri lojistik ağının tüm elemanlarına ilave olarak, talep noktası olarak görev yapan 3. parti lojistik firmaları, ikincil marketler, atık arazileri, vakıflar ve daha fazlasından oluşmaktadır. Önceden belirlenmiş bir talep olmadığından ve farklı kısıtlarla sınırlandırılmış kapasitelere sahip olduklarından bu birimler farklı özelliklere sahiptir. Örneğin atık arazileri ele alınırsa, hükümet firmaların gönderebileceği miktarları sınırlandırmaktadır. Ürün ne zaman geri dönmeli? Nereye taşınmalı? Firmanın karını maksimize etmesi için en

etkili strateji nedir? soruları tersine lojistik ağı tasarımıyla araştırmacıları en çok düşündüren sorulardır [Institut D'estudis Territorials, 2002].

Fazla miktardaki belirsizlik tersine lojistik ağının tasarlanmasını zorlaştırmaktadır. Bu belirsizlik, firmaların ürünlerin ne zaman, nereye ve nasıl geri dönüştürüleceğini bilememesinden ve miktar ve kalitenin değişiklik arz etmesinden kaynaklanmaktadır. Geri dönen ürünlerin kalitesi ve miktarı (örneğin yüksek kaliteli bir ürün daha fazla taşıma maliyeti getireceğinden ve böylece daha merkezi bir ağ tasarımı gerektirecektir) uygun bir ağ tasarımı için belirleyici faktörlerdir. Öte yandan düşük değerli ürünler için kapsamlı taşıma yapılması ekonomik olmayacaktır. Dahası, iyileştirilen ürünler için son pazarların iyi bilinmemesi ağ tasarımını daha belirsiz hale getirmektedir [Fleischmann ve ark., 1997].

Ayrıca, dönen ürünlerin miktarına bağlı olarak ileri lojistik ağında bulunan dağıtım tesislerinin dışında, değişik sayıda toplama noktaları kullanılabilir. Tersine lojistik ağlarının ileri lojistikte olduğu kadar basit olmayacağı açıktır çünkü ürünler müşterilerden toplandığında izleyecekleri rotalar ürünün durumuna göre değişecektir. Diğer taraftan ürünün tüm bileşenleri imalat tesislerine taşınmaya yetecek değerde olmayacaktır.

Tersine lojistik ağı tasarımıyla ileri lojistik ağı tasarımından farklı olarak dikkat gerektiren bazı elemanlar aşağıda verilmektedir [Krikke, 1998]:

- İleri lojistik sistemlerinin büyük bir çoğunluğu itme sistemidir. Tersine lojistik sistemleri ise zincirin her iki tarafında da müşteriler bulunduğundan itme ve çekme sistemlerinin bir kombinasyonudur.
- Geri dönüşler, istenmeyen ürünlerin ikincil ürünlere, parça ve malzemelere dönüştürüldüğü önceden planlanan bir güzergah izlerler. İleri lojistikte dönüştürme işlemi zincir için kaynak niteliğindeki üretim biriminde gerçekleşmektedir.

- Tersine lojistikte dönüştürme işlemi, tedarikçiden (=atık), talep noktasına (=yeniden kullanım) kadar tüm süreci içeren dağıtım ağına dahil olma eğilimindedir.
- Tersine lojistikte geri akışların sadece bir kısmı değerli olduğundan etkili bir tasarımda operasyonlar birçok aşamaya yayılırken, ileri lojistikte bir ya da iki aşamada yoğunlaşılır.

Etkin bir dağıtım ağının oluşturulabilmesi için yukarıda belirtilen hususların dışında aşağıda tanımlanan belirli bazı özelliklerin değerlendirilmesi gerekmektedir [Fleischmann ve ark., 1997].

Tersine dağıtım kanalında rol alan elemanlar kimlerdir? Elemanlar, ileri lojistikte görev alan bazı üyeler (geleneksel imalatçılar, perakendeciler, lojistik servis sağlayıcıları gibi) olabileceği gibi, tersine lojistiğe özgü görevleri gerçekleştiren yeni üyeler de (ikincil malzeme satıcıları, malzeme iyileştirme tesisleri gibi) olabilirler.

Tersine dağıtım kanalında hangi fonksiyon nerede yerine getirilecektir? Ağ tasarımı aşamasında, olası fonksiyonlar olan ürün testi, sınıflandırma, ayrıştırma ve ürün işlemenin nerede yapılacağı belirlenmelidir. Sınıflandırma ve test işlemlerinin gerçekleştirileceği yerlerin belirlenmesi ayrı bir dikkat gerektirir. Bunun nedeni, erken yapılan testlerin kullanılamaz haldeki ürünlerin nakledilmesini engelleme fırsatıdır. Ancak karmaşık testler her noktada bulundurulamayacak türde ekipmanları gerektirebilmektedir. Geri dönüş akışlarını farklı yeniden kullanım oranlarına sınıflandırma işlemi, toplama işlemine yakın bir aşamada daha ucuza mal edilebilir. Bununla birlikte, sonraki taşıma maliyetleri artabilir ve taşıma kapasite kullanımı erken aşamalarda farklı akışlara bölünmeler nedeniyle azalabilir.

İleri ve tersine dağıtım kanalı arasındaki ilişki nedir? Aynı elemanlar kullanılıyor olsa bile, iki dağıtımda farklı fonksiyonlar gerçekleştirileceğinden bunların entegrasyonunda rotalama düzeyinde karmaşıklıklar olacaktır. İleri ve tersine lojistikte ele alınması gereken konulardan biri de, iki akışın bütünleştirilip

bütünleştirilmemesidir. Unutulmaması gereken, iki akışın bazı farklılıklar içereceği ve tersine dağıtımın, ileri dağıtımın simetrik bir yansıması olmasının gerekmediğidir.

3.13. Tersine Lojistikte Başarı ve Bariyerler

Tersine lojistik sistemlerinin günümüzde yaygın olmamasının ana nedeni konuya yeterince önem verilmemesidir (%39,2). Ancak gün geçtikçe zorlaşan rekabet koşulları işletmeleri eski uygulamalarını değiştirmeye zorlamaktadır. Güvenilir sistemlerin olmayışı da tersine lojistik uygulamalarını çekici kılmayan nedenler arasında yer almaktadır. Finansal kaynakların ve personel kaynaklarının yetersizliği ile özellikle gelişmekte olan ülkelerde kanunlardaki konuyla ilgili noksanlıklar tersine lojistik sistemlerinin olması gereken düzeyde uygulanmamasının temel nedenleri arasındadır [Patel, 2006].

Tersine akışı sistemlerine dahil eden firmaların, başarılı için ortak önerileri aşağıda sıralanmıştır [Thierry ve ark., 1995]:

- Doğru ve gerekli bilgiye ulaşmada genellikle zorluklarla karşılaşmaktadır, ancak firmalar, tedarikçileri, tamir merkezleri ve atık yönetimi uygulayan birimleri ile işbirliği sağlayarak gerekli bilgileri edinebilir. Gerekli temel bilgiler, ürün karakteristikleri, kullanılmış ürün tedarigi, yeniden işlenmiş olan ürüne talep, talep ve tedarigin eşleştirilmesine ilişkin bilgilerdir. Bu bilgilerin elde edilmesi için çoğunlukla yeni bir bilişim sisteminin oluşturulması gerekebilmektedir.
- Farklı ürün geri kazanım stratejileri bulunmaktadır. Opsiyon seçimi; sürecin teknik olarak yapılabilirliğine, uygun kullanılmış ürüne ulaşabilirliğe, yeniden işlenmiş olan ürüne olan talebe, yasalara ve firmanın ulaşabileceği kara bağlı olacaktır.
- Büyük firmalar operasyonlar için yeniden kullanım hedefleri koyarak bunu gerçekleştirmeye çalışırlar. Örneğin BMW, plastiklerinin %80'ini yeniden

kullanmayı hedeflemiştir. Ölçülebilir amaçlar koyma, etkin bir sistem uygulamak için gereklidir.

- Birçok durumda ürünün, geri kazanım süreçleri için yeniden tasarlanması gerekebilir. Ayırıştırma için tasarım, geri dönüşüm için tasarım, yeniden imalat için tasarım gibi yaklaşımlar, malzeme ve bileşenlerin standardizasyonu, malzeme ve bileşenlerin kodlanması, içeriğin geri dönüşümünün sağlanması, modüler tasarım, dayanıklı ve yeniden kullanılabilir malzemelerin seçilmesi gibi prensipler uygulanabilir.

- Ürün geri kazanım süreçleri, üretici ve zincirdeki diğer organizasyonların işbirliğini gerektirir. Tamir merkezleri, yeniden işleme birimleri, atık yönetimi uygulayan birimler ile koordinasyon sağlanmalı, tedarikçilerle yakın ilişkide olunmalıdır.

- Geri dönüşüm süreçlerinde aynı pazardaki firmalar arasında işbirliği yapılabilir. Geri dönüşüm araştırmaları üzerine ortak projeler gerçekleştirilebilir.

- Firmaların ürün geri kazanım süreçlerini var olan sistemlerine başarıyla uygulayabilmeleri, aşağıdaki şartları gerçekleştirmelerine bağlıdır:

- Doğru bilginin edinilmesi,

- Ürün ve süreçlerin gerekiyorsa yeniden tasarlanması,

- Diğer firmalarla işbirliği,

- Kullanılmış ürün tedarikinin doğru bir şekilde tahmini ve kontrol edilebilmesi,

- Yeniden işlenmiş ürünlere talep yaratabilmesi,

- Yeniden işlenmiş ürünlerin yeni ürün kadar iyi olduğunun kanıtlanabilmesi.

Sonuç olarak, ürün geri alım süreçlerinin üretim, lojistik ve diğer süreçler üzerinde etkisi olacaktır. Bu alanda gerekli stratejik düzenleme ve değişikliklerin yapılması

gereklidir. Tersine sistemler uygulayan firmalar, bazı yeni özellikler ve yetenekler kazanmak durumunda kalabilirler. Yeni bilişim sistemi, süreçleri ve faaliyetleri izleyebilecek ve kontrol edebilecek düzeyde olmalıdır. Nakliye planları, ileri ve tersine lojistiğe uygun şekilde düzenlenmelidir. Üretim kontrol sistemi, miktar, zamanlama ve kalite konusundaki belirsizliklerin üstesinden gelebilecek düzeyde olmalıdır. Stok kontrol sisteminin yeni duruma adapte edilmesi gerekmektedir. Çalışanların da süreçler hakkında bilgi sahibi olması beklenmektedir.

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

4.1. Giriş (Tanım, Kapsam ve Örnekler)

Lojistik faaliyetleri tedarik zincirindeki malzemelerin ileri doğru akışını içerirken tersine lojistik, ürünlerin yeniden kullanılabilir bir hale getirilmesi amacıyla kullanıcılardan başlayan geri akışı konu edinir [Fleischmann ve ark., 1997].

Lojistik Yönetimi Konseyine göre tersine lojistiğin ilk tanımı Stock tarafından yapılan tanımlamadır [Stock, 1992]. 19. yüzyılın sonlarına doğru Rogers ve Tibben-Lembke tersine lojistiği tanımlayarak zamanın mevcut uygulamalarını, engelleri ve trendlerini tartışmışlardır [Rogers ve Tibben-Lembke, 1999]. Tersine lojistik ile ilgili literatürde yer alan bazı tanımlamalar aşağıda verilmiştir [Pourmohammadi, 2005].

Çizelge 4.1. Tersine lojistik tanımları

Yazar	Tanım
Stock, [1992]	“Geri dönüştürme, atıkların elden çıkarılması, zararlı malzemelerin yönetimi gibi konularda lojistiğin rolünü belirtmek amacıyla kullanılan terimdir; daha geniş açıdan ise kaynak kullanımı, geri dönüşüm, yerine koyma, malzemelerin yeniden kullanımı ve elden çıkarma gibi tüm konularda gerçekleşen lojistik faaliyetleridir.”
Pohlen ve Farris, [1992]	“Malların dağıtım kanalı boyunca müşterilerden üreticilere doğru hareketidir.”
Rogers ve Tibben-Lembke, [1999]	“Hammaddelerin, süreç içi envanterlerin, bitmiş ürünlerin ve ilgili bilginin tüketim noktasından orijin noktasına yeniden değer kazanmak ya da düzgün bir şekilde elden çıkarılmak üzere etkili ve düşük maliyetli akışının planlanması, uygulanması ve kontrolüdür. ”
Fleischmann, [2001]	“Tersine lojistik, etkili ve verimli akışın, ikincil ürünler ve ilgili bilginin geri kazanılmak ya da düzgün bir biçimde elden çıkarılmak üzere geleneksel tedarik zinciri yönüne zıt olarak planlanması, uygulanması ve kontrolüdür.”

Yukarıdaki tanımlar benzer görünse de tersine lojistiği değişik yönlerden ele aldıklarından farklılıklar göstermektedirler. Stock atıkların azaltılması üzerinde durarak tersine lojistiğe çevresel açıdan yaklaşmıştır. Pohlen ve Farris ise imalatçı ve tüketicilerin tedarik zincirindeki konumlarını dikkate alarak ürün akışının yönü ile ilgilenmişlerdir. Fleischmann, Pohlen ve Farris'in tanımlarını imalatçı ve tüketici arasında geleneksel yönde ve tersi yönde olan tüm akışları içerecek şekilde genişletmiştir. Rogers ve Tibben-Lembke ise kapalı çevrim bir ağ oluşturan ürün akışlarının yönetimi üzerine yoğunlaşmışlardır. Çalışmalarında ayrıca, ileri ve tersine lojistiğin tahmin, taşıma, ürün kalitesi, paketleme, rota gibi en az 15 alanda birbirinden farklı olduğunu belirtmişlerdir. Fleischmann, Rogers ve Tibben-Lembke'nin tanımlarını orijin noktasına dönen ürünlerin dışında örneğin alternatif bir tedarik zincirindeki rakibin iyileştirdiği ürünleri de dikkate alacak şekilde genelleştirmiştir [Pourmohammadi, 2005].

Tersine lojistik, kapalı çevrim tedarik zincirinin bir parçasıdır. Bir tersine lojistik sistemi yeniden imalat, geri dönüşüm ya da elden çıkarma işlemlerinden elde edilen ürün veya parçaların akışının etkili bir biçimde yönetilmesi ve kaynakların etkili bir biçimde kullanılması için tasarlanan bir tedarik zincirini tanımlar [Dowlatsahi, 2000]. Bu sistem tedarik zinciri üyeleri arasında malların ve malzemelerin ters yönde akışını içerir. Fleischmann, tersine akış nedenlerini beş kategoride toplamıştır [Fleischmann, 2001]. Bunlar:

- Hayat çevrimini tamamlayan ürünlerin geri gönderilmesi,
- Alınan borçlara karşılık olarak genellikle hiç kullanılmamış olarak gönderilen ticari dönüşler,
- Garanti süresi boyunca kusurlu ürünlerin geri dönüşleri,
- Üretim ıskartaları ve yan ürünlerin geri dönüşleri,
- Konteynırlar, tekrar kullanılabilir paketler ve paket artıklarını içeren paketleme malzemeleri dönüşleridir.

Firma içi akışlar sadece 4. maddede ve bazen de 5. maddede gerçekleşir. Tersine lojistik faaliyetleri hem firma içi hem de firma dışında söz konusu olan geri akışları konu edinir.

Tersine lojistik alanı 19. yüzyıldan itibaren çeşitli disiplinlerden birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir. 19. yüzyılın son zamanlarında tersine lojistikle ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Bunlardan Rogers ve Tibben-Lembke, Amerika endüstrisindeki tersine lojistik uygulamalarını belirleyebilmek için geniş çaplı bir anket yapmışlardır [Rogers ve Tibben-Lembke, 1999]. Dowlatshahi, tersine lojistikle ilgili beş kategoriye değinmiştir. Bunlar: tersine lojistiğin global kapsamı, kantitatif modeller, lojistik (dağıtım, depolama ve taşıma), firma profilleri ve uygulamalar şeklinde sıralanabilir [Dowlatshahi, 2000]. Tersine lojistik alanında yapılan inceleme makaleleri, Kent ve Flint, Fleischmann ve arkadaşları, Carter ve Ellram, Dowlatshahi, Guide ve Jayaraman ve Guide, Brito ve arkadaşları olarak sayılabilir [Kent ve Flint, 1997; Fleischmann ve ark., 1997; Carter ve Ellram, 1998; Dowlatshahi, 2000; Guide ve Jayaraman, 2000; Guide, 2000; Brito ve ark., 2002].

Bunlardan Kent ve Flint çalışmalarında, lojistik alanında faaliyet gösteren 7 firmayla görüşmüşler ve lojistik yönetimi alanında meydana gelen gelişmelerin kronolojik sırasını vermişlerdir [Kent ve Flint, 1997]. Fleischmann ve arkadaşları, tersine lojistikle ilgili yapılmış olan kantitatif modelleri dağıtım planlama, envanter kontrolü ve üretim planlama olmak üzere üç kısımda incelemişlerdir. Kullanılmış ürünlerin geri döndüğünde, kaliteleri, miktarları ve çeşitliliklerindeki belirsizliklerin tersine lojistik sürecini daha karmaşık bir yapıya dönüştürdüğü sonucuna varmışlardır. Envanter planlamanın kalite, miktar ve zaman belirsizlikleri altında daha zor olduğunu belirten yazarlar geleneksel malzeme ihtiyaç planlama sistemlerinin tersine lojistik sistemleri için yetersiz olduğunu savunmuşlardır. Yazarlar yeniden imalat ortamında envanter yönetiminin amacının, hem dışarıdan gelen siparişleri hem de geri kazanım sürecinin her aşamasında ortaya çıkan ürün ve parçaları kontrol ederek gerekli kontrol ve planlamayı yapmak ve istenen servis düzeyini minimum maliyetle sağlamak olduğunu belirtmişlerdir [Fleischmann ve ark., 1997].

Carter ve Ellram da aynı şekilde tersine lojistik ile ilgili yaptıkları literatür araştırmasında konuyla ilgili yapılan çalışmaları üç kısımda incelemiştir. Bu kısımlar, genel, taşıma ve paketleme ile satın alma olarak ele alınmıştır. Tersine lojistik hiyerarşisine değinen yazarlar tersine lojistik sürecinde en büyük amacın kaynak kullanımını azaltmak olması gerektiğini belirtmişlerdir. Kaynak kullanımını azaltmanın da çevreyle dost ürün tasarımına gidilmesiyle elde edilebileceğini belirterek bir parçayı elden çıkarmanın en son çare olması gerektiğini vurgulamışlardır [Carter ve Ellram, 1998]. Dowlatshahi, tersine lojistik ile ilgili literatür araştırması yapan bir diğer araştırmacıdır. Çalışmasında diğer araştırmacılardan farklı olarak literatürü global kavramlar, kantitatif modeller, dağıtım-depolama-taşıma, tesis profilleri ve uygulamalar olmak üzere beş başlık altında incelemiştir [Dowlatshahi, 2000]. Guide ile Guide ve Jayaraman çalışmalarında yeniden imalat konusu üzerine yoğunlaşarak literatürü tahmin, tersine lojistik, üretim planlama ve kontrol, stok yönetimi-stok kontrol ve genel olmak üzere değişik kategoriler halinde incelemiştir [Guide, 2000; Guide ve Jayaraman, 2000].

Brito ve arkadaşları ise uygulamadaki tersine lojistik faaliyetlerini tanımlayan literatürü incelemiştir. Çok sayıda farklı tersine lojistik modeli içeren örnek olayı konu edinen yazarlar tersine lojistik modellerini ağ yapıları, geri dönüş tipleri (ticari dönüşler, servis dönüşleri, hayat çevrimini tamamlayan ürünlerin dönüşleri) gibi konuları temel alarak farklı sınıflara ayırmışlardır. Çalışmada ayrıca geri dönen ürünlerin elde edilmesi ve iyileştirilmesindeki belirsizlikleri içeren ürün iyileştirme faaliyetlerinin planlama ve kontrolünü tanımlayan örnek olaylar ele alınmıştır [Brito ve ark., 2002].

Literatürde yer alan diğer pek çok çalışma tersine lojistik konusunu farklı perspektiflerden ele almaktadır. Bunlardan Brito ve Dekker, ürünlerin dönüş nedenleri, kanuni baskılar, ticari amaç ve toplum baskısı gibi tersine lojistik uygulamalarını tetikleyen unsurlar, ürünlerin nasıl geri döndüğü, ürünlerin geri döndükleri zamanki durumu ve tersine lojistiğe dahil olan aktörler gibi konuları dikkate alan tersine lojistik çatısını incelemiştir. Son olarak da uzun, orta ve kısa

dönemli kararların alınmasında yardımcı olacak bir prosedür geliştirmişlerdir [Brito ve Dekker, 2002].

Georgiadis ve Vlachos, tek ürünli bir tedarik zincirinin davranışlarına çevresel konuların etkisini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada sistemin davranışlarını analiz etmek üzere dinamik bir simulasyon modeli geliştirilmiştir. Modelde yeni, kullanılmış ve iyileştirilmiş ürünlerin akışları ve envanterleri dikkate alınmıştır [Georgiadis ve Vlachos, 2004].

Richey ve arkadaşları, otomobil endüstrisinde etkili tersine lojistik programları geliştirme yolları aramışlar ve ürünlerin geri döndürülme politikası gibi unsurların tersine lojistik sistemlerinin performansına etkisi olduğunu savunmuşlardır [Richey ve ark., 2005]. Otomobil endüstrisinde tersine lojistik faaliyetlerini ele alan bir diğer çalışma, Schultmann ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Almanyada'ki hayat çevrimini tamamlayan araçları konu edinen bir çalışma yapan yazarlar, kullanılmış malzeme akışlarının tedarik zincirlerine yeniden etkili bir şekilde entegre olması için farklı kapalı çevrim tedarik zinciri opsiyonlarını değerlendirmişlerdir. Çalışmada gerçek hayat verileri kullanılarak otomobil endüstrisindeki farklı yapıdaki zincirler değerlendirilmiştir [Schultmann ve ark., 2006].

Lee, asıl imalatçıların (Orijinal Equipment Manufacturer) ürünlerin tersine akışını yönetmede karşılaştıkları kritik konuları incelemiştir. Tersine lojistik sistemleri için taşımaların kontrolü, tesis/ekipman konfigürasyonu, iş akış kontrolü, bilgi sistemleri ve haberleşme ağları gibi anahtar elemanları tanımlayan yazar, bunların etkili bir tersine lojistik sistemi oluşturmada önemli karar parametreleri olduğunu savunmuştur [Lee, 2002].

Inderfurth, sabit talep ve belirli geri dönüş prosesi olan bir yeniden imalat modeli için geri dönüşlerde ve talepte belirsizlik olması durumunu incelemiştir. Makalede optimum ürün iyileştirme ve üretim politikasını belirlemek üzere kapalı çevrim bir sistem geliştirilmiştir. Yapılan sayısal analizler maliyet etkin kararların ürün kazanımını pozitif yönde etkilediğini göstermiştir. Ürün geri kazanım tercihlerini

etkileyen çeşitli problemleri değerlendirmek amacıyla duyarlılık analizleri yapılmıştır [Inderfurth, 2005].

Örnek olay inceleyen bir çalışma, Krikke ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Çalışmada Rotterdam’da bir atık fabrikasının ıskartaya çıkan bilgisayar monitörlerini geri dönüştürmesi için optimum iyileştirme stratejisi bulunmaya çalışılmıştır. Çalışmada maksimum net kar sağlayan bir ürün tipi için stokastik dinamik bir programlama modeli geliştirilmiştir [Krikke ve ark., 1999b].

Lu ve Stuart, hayat çevrimini tamamlayan elektronik ürünlerin geri dönüştürülmesini konu edinen bir örnek olay ele almışlardır. Elde edilen ürünlerin net gelirleri, yüksek değerdeki çıktı malzemelerinin satışı, ekipman işleme maliyeti, envanter ve elden çıkarma maliyetlerini dikkate alarak geri dönüştürücünün karını maksimize etmeye çalışan bir model önermişlerdir [Lu ve Stuart, 2003].

Fleischmann ve arkadaşları, tek parça için rastgele geri dönüşleri dikkate alan temel bir stokastik planlama modeli üzerinde çalışmışlardır. Yazarlar, modelin geri dönüşler ihmal edildiğinde standart bir envanter modeline dönüştürülebileceğini vurgulamışlardır. Yüksek geri dönüş oranlarında siparişlerin daha az verildiği ve envanterin M/M/1 kuyruk modeli gibi davrandığı gözlenmiştir [Fleischmann ve ark., 2002].

Diğer taraftan Cooke, Ethan Allen firmasının tersine akışı sistemlerine dahil ederek kar elde etme çabasını incelemiştir. Firmayı tersine lojistik kavramıyla tanıştıran neden, atıkların azaltılması ve geri dönüştürülmesi isteğidir. Yetkililer, yapılan çalışmalar sonucu paket malzemelerinin atıkların büyük bir kısmını oluşturduğu sonucuna vararak mobilyaların taşınması sırasında koruma yöntemini değiştirmeye karar vermişlerdir. Böylece atık malzeme miktarı azaltılmış ve bir defada taşınan kanepeler sayısı 68’den 128’e çıkarılmıştır. Daha sonra atık malzemeleri bir firma aracılığıyla geri dönüştürülmesi için polipropilen kaplama fabrikasına gönderilmiştir. Geri dönüştürücü firma daha sonra Ethan Allen’e malzemeleri için ödeme yapmıştır.

Böylece firma sadece elden çıkarma maliyetlerini azaltmakla kalmayıp, parça başına taşıma maliyetlerini de düşürmüştür [Cooke, 1993].

Cooke, Ethan Allen firmasının kullanılan paket malzemelerini azaltmaya yönelik tersine lojistik çabalarını incelerken, Giuntini ve Andel yeniden imalat yaparak tersine lojistik uygulamalarını sistemine dahil eden bir çok firmayı incelemişlerdir. Makalede, vinç sağlayıcı bir firmanın, vinçlerin kullanılmayan zamanını azaltmak üzere tamir sürelerini kısaltmak, böylece yeni malzeme kullanımını minimize etmek için göstermiş olduğu çabalarla malzeme maliyetlerinden %40 oranında tasarruf ettiği belirtilmiştir. Diğer taraftan bir bilgisayar imalatçısının garantili yedek parçaları önceleri hasarlı parçaları geri almaksızın kullanıcılara gönderdiği için artan yedek parça talebinden bahsedilmiştir. Firma bu sorunu 3. parti servis sağlayıcısıyla hasarlı parçaların kullanıcılardan toplanması için anlaşmakla çözmüştür. Sonuç olarak garanti şartlarını sağlamak için gerekli stok yatırımları önemli ölçüde azalmıştır. Yedek parça taleplerinin zamanında karşılanma oranı ise % 86'dan % 96'ya yükselmiştir. Makalede yer alan diğer bir örnek bir uçak üreticisine aittir. Firma bir tamir/yeniden imalat programı geliştirerek yeni parça üretme ihtiyacını minimize etmiş ve böylece maliyetlerdeki artıştan kaçınmıştır. Malzeme mevcudiyetini ise % 81'den % 93'e çıkarmıştır. Böylece firma, yedek parçaları için pazar payı kaybetme riskini ortadan kaldırmıştır [Giuntini ve Andel, 1995].

Witt çalışmasında farklı alandaki bir tersine lojistik uygulamasına örnek teşkil eden BMG müzik marketi ele almıştır. Pazartesi günleri 80 000 diğer günlerde 40 000 adet ürünü geri alan firmaya olan geri dönüşler oldukça fazladır. Fazla dönüş oranları ile baş edebilmek için firma her bir müşteri faturasına ve ürüne ayrı bir barkod verme yoluna gitmiştir. Örneğin geri dönen bir cd konveyöre geldiği anda faturası üzerindeki barkod okunmakta ve müşteri hesabı güncellenmektedir. Ürünler denetimden geçirilerek hasarlı parçaların barkod bilgileri kaydedilmektedir. İyi durumdaki cd'ler daha sonra satış hacimlerine göre sınıflandırılmakta ve dağıtım merkezlerine gönderilmek üzere paketlenmektedir. Barkod numarası yardımıyla stoklar otomatik olarak güncellenmektedir. Firma bu sistem yardımıyla geri dönen ürünleri sekiz saat içerisinde stoklarına gönderebilmiştir [Witt, 1998].

Pilar ve Belarmino, İspanya ve Belçika’da cam endüstrisinde tersine lojistik uygulamalarını ele almışlardır. Yazarlar, camın fiziksel özelliği ile geniş çaplı kullanım alanlarından dolayı tersine lojistik uygulamalarında önemli bir hacme sahip olduğunu ileri sürmüşler ve İspanya ile Belçika’da ki paketleme ve şişe fabrikalarında müşteri tedarikçi ilişkisini incelemişlerdir [Pilar ve Belarmino, 2006].

Yukarıda sözü geçen firmalar tersine lojistiğin sadece belirli kısmını uygulamaktadır. Thierry ve arkadaşları, fotokopi makinesi üreten ve değişik yeniden kullanım opsiyonları içeren, geniş çaplı geri kazanım programı uygulayan bir firmanın tersine lojistik sistemini incelemişlerdir. Ürün iyileştirme stratejisi olarak tamir etme yöntemi kullanmaya başlayan firma zamanla yeni yedek parça kullanımını ve geri dönen ürünlerin kullanılmayan kısımlarını daha da azaltmak için ürün yenileme yöntemine geçmiştir. Kullanılmış ürünlerin sadece %10’luk kısmının yeniden kullanıldığını gören firma atıkların daha etkin değerlendirilmesi amacıyla geri dönüştürme yöntemini sistemlerine dahil etmeye karar vermiştir. Bu karar firmayı tasarımlarında ayrıştırma işlemini göz önünde bulundurmaya ve malzeme standardizasyonuna zorlamıştır. Firma satın alma ve üretim maliyetlerinden çok ürünlerin hayat çevrimleri ile performanslarını dikkate almaya başlamıştır. Geri dönüştürülen ürünler için pazar arayışına giren firma, uygulayacakları geri dönüştürme opsiyonunu belirlemeye çalışmıştır. Böylece hem parçaların yeniden kullanımına hem de makinelere yeni teknolojilerin ve güncellemelerin eklenebilmesine imkan tanınmıştır. Bunun için ise tasarımlarda ayrıştırma faaliyetinin dikkate alınması, parçaların standardizasyonu, modüler tasarım, ürün ve parçaların kodlanması gereklilikleri ortaya çıkmıştır [Thierry ve ark., 1995].

Prahinski ve Kocabasoglu tersine lojistik konusuna farklı bir açıdan yaklaşmışlardır. Literatürdeki konuyla ilgili çalışmaların daha çok örnek olay ve optimizasyon modelleri üzerine yoğunlaştığını savunan yazarlar, tersine lojistik konusunu ele alan literatürü incelemişler ve bunlardan yola çıkarak elde ettikleri 10 farklı sonucu nedenleri ve detaylarıyla anlatmışlardır. Bu sonuçların tersine tedarik zinciri içerisindeki yöneticilere karşılaşılabilecekleri çeşitli fırsatlar konusunda yol göstereceğini belirtmişlerdir [Prahinski ve Kocabasoglu, 2006].

Tersine lojistik konusuna farklı bir açıdan yaklaşan diğer bir çalışmada ileri teknoloji kullanarak imalat yapan bir bölgede ortaya çıkan zararlı atıkların iyileştirilmesi konu edinilmiştir. Çalışmada geliştirilen model farklı olarak, bir yandan tersine lojistik operasyon maliyetlerini minimize etmeye çalışırken bir yandan da ceza fonksiyonları kullanarak meydana gelebilecek riskleri minimize edecek şekilde çok amaçlı olarak geliştirilmiştir [Sheu, 2007].

19. yüzyıldan itibaren tersine lojistiği konu edinen bu çalışmalar tersine lojistiğin artan önemini ve iş hayatında tersine lojistik faaliyetlerinin sistemlerine dahil eden firmaların elde edebilecekleri faydaları vurgulamaktadır.

4.2. Tersine Lojistik Konuları

4.2.1. Ağ tasarımı

Tersine lojistikte farklı perspektiflerden ağ tasarımını konu edinen literatür oldukça geniştir. Dowlatshahi, tersine lojistik sistemlerinin geliştirilmesi konusuyla ilgili kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Sistem tasarımı ve bunu etkileyen iki önemli unsur olan stratejik ve operasyonel faktörler üzerinde duran yazar, stratejik faktörlerin operasyonel faktörlerden daha öncelikli olduğunu savunmuştur. Stratejik maliyetler, toplam kalite, müşteri servis düzeyi, çevre bilinci ve kanunlar gibi konular tersine lojistik sisteminin tasarımını etkileyen stratejik faktörler arasında yer almaktadır. Operasyonel faktörler ise müşteri, fayda-maliyet analizleri, taşıma, depolama, arz yönetimi, yeniden imalat ve geri dönüştürme ile paketlemeden oluşmaktadır [Dowlatshahi, 2000].

Fleischmann ve arkadaşları, ürün iyileştirme ağlarının genel karakteristiklerini tanımlayarak bu ağları geleneksel ileri lojistik yapıları ile karşılaştırmışlardır. Talepteki belirsizliğin bu iki dağıtım ağı arasındaki en belirgin fark olduğu sonucuna varan yazarlar, tersine lojistik ağlarının sınıflandırılmasına yardımcı olacak farklı örnek olayları incelemişlerdir. Çalışmada ürün geri kazanım ağlarının özelliklerini belirleme amacı güden yazarlar, toplama, denetleme/sınıflandırma, yeniden işleme,

elden çıkarma ve yeniden dağıtım gibi tersine lojistik ağlarının ortak faaliyetleri üzerinde durmuşlardır. Bu faaliyetler, kesikli veya sürekli her hangi bir imalat sistemi için uygulanacak şekilde ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır. Yazarlar farklı geri kazanım durumları oluşturan çok sayıda değişkeni a) Fiziksel ve ekonomik ürün özellikleri ve iyileştirme opsiyonları, b) Zincirdeki önemli aktörler ve etkileşimlerini içeren tedarik zinciri özellikleri, c) İyileştirme tesislerinin esneklik ve maliyetlerinin değerlendirilmesi açısından kaynak özellikleri olarak 3 grupta değerlendirmiştir. Sonuç olarak da ürünger geri kazanımında oluşturulan ağ tipleri için bir sınıflandırma şeması oluşturmuşlardır [Fleischmann ve ark., 2000].

Nagel ve Meyer çalışmalarında geri dönüşüm ağlarının sistematik olarak analizini ve modellenmesini ele almışlardır. Çalışmada elektronik parçaların geri dönüştürülmesi işlenmiş ve şebekeler iki kısımda incelenmiştir. Bunlar toplama, taşıma ve depolamayı içeren transfer süreci ile ayrıştırma, geri kazanım ve elden çıkarma faaliyetlerini içeren dönüştürme sürecidir. Yazarlar, ayrıştırma faaliyetini dahil ettikleri ve geri dönüşüm opsiyonunu tasarladıkları modelin diğer ürünler için de kullanılmasının mümkün olabileceğini belirtmişlerdir [Nagel ve Meyer, 1999].

Yukarıda söz edilen makaleler kullanılan ağ yapılarını anlamaya ve sınıflandırmaya çalışmışlardır. Minner, ürün geri dönüşümü ve yeniden kullanımının söz konusu olduğu tedarik zincirlerinde güvenlik stoklarının bulundurulması konusunu incelemiştir. Genel bir tedarik zinciri şebekesinde güvenlik stoklarının planlanması için bir yaklaşım önermiştir. Çalışmada hiçbir geri dönen ürünün elden çıkarılmadığı ya da envanterde tutulmadığı varsayılmıştır [Minner, 2001].

Salema ve arkadaşları ise bir tersine lojistik ağı tasarlayarak depo lokasyonunu belirlemeye yönelik bir karma tamsayılı matematiksel model geliştirmişlerdir. Sınırsız kapasite ve tek ürün için geliştirilen model, daha sonra sınırlı kapasite ve çok ürün için genişletilmiştir [Salema ve ark., 2006].

Ağ tasarımını konu edinen makalelerin büyük kısmında ele alınan dağıtım planlama, Fleischmann ve arkadaşları tarafından dönen ürünlerin toplanması ve taşınması

olarak tanımlanarak iki kategoriye ayrıştırılmış ve literatürde bulunan bu konudaki çalışmalar incelenmiştir. Taşıma için bağımsız bir tersine akış kanalı kullanan modeller ve orijinal ileri kanal ile bazı ayrı bileşenler içeren kombinasyondan oluşan modeller incelemeye konu olan kategorileri oluşturmaktadır. Geri dönüştürme ve diğer iyileştirme opsiyonları için dağıtım sistemlerinin planlanması konusunu araştıran yazarlar, tersine akışı içeren şebekelerin ileri akış sistemlerinden belirgin derecede farklılıkları olduğunu belirtmişlerdir. Kullanılmış ürünlerin arz miktarı ve yeniden işlenen ürünlerin satışa sunulacağı pazarlardaki belirsizlikler bu farklardan önemli ikisini oluşturmaktadır. İleri ve geri dağıtım arasındaki etkileşimin oldukça önemli olduğu da makalede vurgulanan bir diğer konudur [Fleischmann ve ark., 1997].

Son olarak Listes çalışmasında tersine lojistik sistemlerinde imalat ve yeniden imalat konularını birlikte içeren yapılara benzer olarak tedarik ve geri dönüşleri dikkate alan bir ağ tasarlayarak genel stokastik bir model geliştirmiştir. Çalışmada talep ve geri dönüşler gibi önemli parametrelerin belirli seviyeleri için farklı senaryolar incelenmiştir [Listes, 2007].

4.2.2. Ayrıştırma

Literatürde, ayrıştırma faaliyetinin planlanmasını dikkate alan çalışmalarda genellikle ayrıştırma maliyetleri ile elden çıkarma maliyetleri analiz edilmiştir. Krikke ve arkadaşları makalelerinde optimum iyileştirme ve elden çıkarma opsiyonlarını modellerine dahil etmişlerdir [Krikke ve ark., 1998a, b, 1999]. Zararlı malzemelerin farklı endüstrilerde elden çıkarılması konusundaki problemler ise Penev ve de Ron tarafından incelenmiştir [Penev ve de Ron, 1996].

Diğer taraftan, geri dönüştürme ve yeniden kullanım için ayrıştırma işleminin önemi birçok makalede vurgulanmaktadır. Viswanathan ve Allada, ayrıştırma işlemini göz önünde bulundurarak tasarlama konusunu incelemişlerdir [Viswanathan ve Allada, 2001]. Ayrıştırma için tasarım, geri dönüşüm için tasarım gibi yaklaşımlar ile malzeme ve bileşenlerin standardizasyonu, malzeme ve bileşenlerin kodlanması,

modüler tasarım, dayanıklı malzemelerin kullanılması gibi prensiplerin uygulanması ile operasyonlar daha kolay ve etkin hale gelebilir. Gungor ve Gupta, yaptıkları çalışmada ürünlerin ayrıştırma operasyonu dikkate alınarak tasarlanması konusunda yapılan literatür çalışmalarını incelemişlerdir [Gungor ve Gupta, 1999].

Tang ve arkadaşları ise yeniden imalat ortamlarında geri dönen ürünlerden hangilerinin hangi seviyeye kadar ayrıştırılacağını ekonomik olarak ele alan bir model geliştirmişlerdir [Tang ve ark., 2004].

4.2.3. Dış kaynak kullanımı

Gün geçtikçe daha fazla firma tersine lojistiğin başlı başına bir iş süreci olduğunu ve başarılı bir şekilde yönetilmesi için daha fazla çaba gerektirdiğini kabul etmektedir. Pogorelec çalışmasında pek çok perakendecinin tersine lojistik düşüncesine yabancı olduğunu savunmuştur. Yıllarca bütün enerji ve kaynaklarını ürünlerinin stoklarından ayrılması için harcayan firmalar onların geri toplanması konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu durum tersine lojistik faaliyetleri için dış kaynak kullanımı gerekliliğini doğurmaktadır [Pogorelec, 2000].

Lieb ve Bentz inceledikleri 500 firma yöneticisinden %77'sinin 3. parti servis sağlayıcı kullanarak tersine lojistik maliyetlerini belirgin şekilde azalttıklarını belirtmiştir. 3. parti servis sağlayıcıların verdikleri hizmetler arasında taşıma, depolama, envanter yönetimi, paketleme ve sevk etme sayılabilir [Lieb ve Bentz, 2004]. Tersine lojistikte dış kaynak kullanımını işleyen literatürdeki diğer çalışmalar çizelge 4.2'de verilmektedir [Setaputra, 2005].

Çizelge 4.2. Tersine lojistikte dış kaynak kullanımı

Çalışma	Metodoloji	Anahtar Konu	İçerik
Lieb ve Kendrick, [2003]	Araştırma	3. parti servis sağlayıcıların iş beklentilerini ve stratejik insiyatifleri anlaması.	3. parti servis sağlayıcılarla henüz stratejik ortaklıklar kurulmasa da bunlara olan ilgi artmaktadır.
Lieb ve Miller, [2002]	Araştırma	Kullanıcıların 3PL tarafından sağlanan hizmeti anlaması.	Firmaların dış kaynak kullanımına ayırdıkları bütçeler 3 yılda yaklaşık ikiye katlamıştır ve firmaların %21'i 3PL kullanmaktadır.
Meade ve Sarkis, [2002]	Analitik Ağ Süreç Modeli	Tersine Lojistik Operasyonları için 3PL seçme ve değerlendirme.	Ürünün hayat evresi, performans kriterleri, gerekli fonksiyonlar ile çevre ve müşteri önemli etkenleri oluşturmaktadır.
Evans, [2000]	Yönetimsel Kararlar	Yerel lojistik sağlayıcı kullanımının avantaj ve dezavantajları.	Kaynaklar, kontratlar, müşteri portföyü ve IT yatırımı yerel servis sağlayıcı kullanımının dezavantajları arasındadır.
Maltz ve Ellram, [2000]	Araştırma	En çok hangi lojistik faaliyetleri için dış kaynak kullanıldığının belirlenmesi.	İzleme, yer sağlama, sipariş gönderme, stokları tüketme gibi faaliyetler en çok 3PL tarafından sağlanan hizmetler arasındadır.

Çizelge 4.2. (Devam) Tersine lojistikte dış kaynak kullanımı

Skjoett ve Larsen, [2000]	Örnek Olay	Maliyet ve şebeke teorilerinin 3PL' yi değerlendirme amacıyla kullanılması.	Başarı için daha stratejik düşünme gerekmektedir ve insan kaynakları önemli bir rol oynamaktadır.
Van Laarhoven ve ark., [2000]	Araştırma	Lojistik ortaklıklarının özelliklerinin belirlenmesi.	Ortaklık anlayışı değil, ortaklığın seviyesi kademeli olarak değişmektedir.
Boyson ve ark., [1999]	Araştırma	Ne amaçla, hangi faaliyetler için, nasıl dış kaynak kullanıldığının belirlenmesi.	Ürün geri dönüş fonksiyonu için dış kaynak kullanan firma sayısı az olsa da en çok kullanıcı tatmini bu fonksiyon için sağlanmaktadır.
Hines ve Rich, [1998]	Araştırma	Tedarikçilerle etkileşimin rekabetçi avantajlarının belirlenmesi.	Tedarikçileriyle etkileşim halinde olan firmalar genellikle 4 tipte şebeke yapısı kullanmaktadır.
Lieb ve Randall, [1996]	Araştırma	Lojistik faaliyetleri için dış kaynak kullanımının 3 dönem için değerlendirilmesi.	Ürün geri dönüşleri için dış kaynak kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.
Lieb ve ark., [1993]	Araştırma	Amerika ve Avrupa'da lojistik faaliyetleri için dış kaynak kullanan imalatçıların yoğunluğunun değerlendirilmesi.	Avrupa'da daha fazla firma lojistik faaliyetleri için dış kaynak kullanmaktadır.

Bunlardan Maltz ve Ellram ve Boyson ve arkadaşları, tersine lojistikte daha çok hangi fonksiyonlar için dış kaynak kullanımına gidildiğini araştırmışlardır. Skjoett-Larsen, Evans, Hines ve Rich ve Meade ve Sarkis gibi yazarlar ise daha çok lojistik servis sağlayıcısı seçiminde dikkat edilmesi gereken hususları belirterek yöneticilere yol göstermeye çalışmışlardır. Hines ve Rich makalelerinde servis sağlayıcıların rekabetçi avantajlarını incelemek üzere 4 farklı tipte şebeke ele almışlardır. van Laarhoven ve arkadaşları ise yaptıkları çalışma ile lojistik ortaklıklarının özellikleri üzerinde durmuşlardır. Lieb ve Kendrick, Lieb ve Miller, Lieb ve Randall ve Lieb ve arkadaşları çalışmalarında değişik yerlerde bulunan (Amerika, Avrupa, Avustralya) hem servis sağlayıcı hem de kullanıcılarından oluşan çeşitli firmaları değişik zaman dönemlerinde incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar 3. parti servis sağlayıcı kullanan firmaların sayılarının ve firmaların ürün geri dönüşleri için 3. parti servis sağlayıcılara ayırdıkları bütçelerin gün geçtikçe arttığını, ancak 3. parti servis sağlayıcılarla henüz stratejik ortaklıklar kurulmadığını göstermektedir.

4. 3. Temel Tersine Lojistik Opsiyonları

4.3.1. Tamir etme

Tersine lojistik opsiyonlarından biri olan tamir etme modelleri, tersine lojistik konusunun önem kazanmasıyla birlikte literatürde ilk ve sıkça çalışılan konulardan birini oluşturmaktadır. Bu konu ile ilgili yapılan makalelerin çoğu, yedek parça envanterlerinin planlanması ile ilgilenmektedir. Guide ve Srivastava çalışmalarında tamir edilebilir envanter literatürünü sunmuşlardır. Tamir edilebilir envanter teorisini, tamir edilen ya da yeniden kullanılan parçalardan oluşan envanter olarak tanımlayan yazarlar tamir sistemlerini karmaşıklaştıran tipik problemleri belirtmişler ve geleneksel sistemlerle karşılaştırma yapmışlardır. Makalede ayrıca tamir konusuyla ilgili bir çatı oluşturulmuş ve literatürde kullanılan çözüm metodolojisi optimum, yaklaşık, simülasyon ya da karar destek sistemi olmasına ve ele alınan sistemin tek aşamalı ya da çok aşamalı olmasına göre sınıflandırılmıştır [Guide ve Srivastava, 1997b].

Panisset makalesinde tamir endüstrilerinde üretim kaynakları planlamasını ele almıştır. Çalışmada, Avustralya'daki dizel lokomotif ve trenleri tamir eden bir fabrikayı konu edinen bir örnek olay sunulmuştur [Panisset, 1988].

Richter yapmış olduğu çalışmada talebin yeni ya da tamir edilmiş ürünlerden karşılandığı bir ekonomik sipariş miktarı modeli geliştirmiştir. Model, aynı zamanda tamir edilemeyen kullanılmış ürünlerin oluşturduğu atıkların elden çıkarılmasını da içermektedir [Richter, 1996]. Guide ve arkadaşları, tamir atölyeleri için çizelgeleme konularını incelemişlerdir. Daha önce yapılan literatürdeki konuyla ilgili çalışmaları sunan yazarlar, önceki çalışmalarda yedek parçalar için gerekli olan paranın var olduğu varsayımını kullandığını vurgulamışlardır. Geliştirdikleri model finansal ve politik kısıtların stoklamayı önleyebileceği durumları dikkate almaktadır. Makalede, işlem zamanları stokastik olarak ele alınmış ve ürünlerin farklı işlem rotalarına sahip olabileceği düşüncesi modele dahil edilmiştir [Guide ve ark., 2000].

4.3.2. Yeniden imalat

Sürekli gelişme sağlayacak çevreci ve ekonomik iyileştirme stratejilerinin en önemlilerinden biri yeniden imalattır. Birçok araştırmacıya göre yeniden imalat, geri dönüştürme işlemi ile karşılaştırıldığında daha karlı bir prosestir [Klausner ve Hendrickson, 2000; Guide ve Jayaraman, 2000; Guide ve van Wassenhove 2001]. Daha karlı görülmesine karşın yeniden imalat, geri dönüştürme ile karşılaştırıldığında daha kompleks operasyonlara sahiptir. Yeniden imalat söz konusu olduğunda tersine akışın daha dikkatli bir biçimde ele alınması gerekmektedir [Setaputra, 2005]. Guide ve arkadaşları, yeniden imalat sürecinin yönetilmesinde en azından yedi faktörün daha karmaşık olduğunu belirtmişlerdir. Bu faktörler, dönüşlerin zaman ve miktarının belirsizliği, taleplerle geri dönüşlerin dengelenmesi ihtiyacı, ayrıştırma prosesi ihtiyacı, işleme zamanı belirsizliği, tersine lojistik ağı gerekliliği, materyal eşleştirme kısıtlarının belirsizliği ve stokastik rotadır [Guide ve ark., 2000]. Yeniden imal edilen otomobil parçaları, medikal ekipmanlar, kartuşlar, bilgisayar parçaları yeniden imalata örnek olarak verilebilir.

Literatürde yeniden imalat konusunu inceleyen pek çok çalışma bulunmaktadır. Mabee ve arkadaşları gibi bazı araştırmacılar yeniden imalat sürecinde ürün tasarımının ne kadar önemli olduğu konusuna değinmişlerdir. Yazarlar, yaptıkları çalışmada yeniden imalat kararlarının kalitesini artırmak için bir tasarım değerlendirme aracı geliştirmişlerdir [Mabee ve ark., 1999].

Ferrer ve Ketzenberg tarafından yapılan bir diğer çalışmada montaj işleminde kullanılmış ya da yeni parçaların kullanılıp kullanılmaması, ayrıştırılmış parça miktarına bağlanmıştır. Makalede ayrıştırılmış ürün bilgisinin erken ya da geç elde edilmesi ve kullanılmamış parçaların tedarikçilerden uzun ya da kısa sürede tedarik edilmesine bağlı olarak 4 farklı model ele alınmıştır. Yaptıkları 540 test çalışması sonucunda karmaşık yapıdaki çok sayıda parça içeren ürünlerin kısa temin süreleri söz konusu ise yeniden imal edilmek yerine yeni ürünler kullanılarak imal edilmesinin daha doğru olacağı sonucuna varılmıştır [Ferrer ve Ketzenberg, 2004].

Kiesmuller, imalat ve yeniden imalat için farklı temin sürelerinin olduğu stokastik bir geri kazanım sistemini incelemiştir. Yazar çalışmasında envanteri iyileştirilebilir ve işe yarar olmak üzere iki sınıfta ele alarak talep ve geri dönüşleri bağımsız olarak modellemiştir [Kiesmuller, 2003].

Teunter ve arkadaşları, yeniden imalat için çok kısa temin sürelerinin hakim olduğu melez bir imalat/yeniden imalat sistemini ele almışlardır. Çalışmada imalat ve yeniden imalat kararlarının olabildiğince ayrı verildiği bir itme/çekme sistemi önerilmiştir. Sistem uzun dönemli imalat kararlarının sistemdeki stokları kontrol etmesi gerekirken, kısa dönemli yeniden imalat kararların ise eldeki işe yarar stokları kontrol etmesi gerektiği mantığına dayanmaktadır [Teunter ve ark., 2002].

Aras ve arkadaşları, yeniden imalat sistemi için kontrol politikaları belirlemede geri dönen ürünlerin kalitelerine göre sınıflandırılmasının etkilerini incelemiştir. Çalışmada geri dönen ürünlerin yüksek ve düşük kaliteli olarak sınıflandırılabilirdiği varsayımına dayanan sürekli bir markov zinciri önerilmiştir. Bu varsayım yardımıyla iki alternatif stratejinin analizi ve karşılaştırılması sağlanmıştır. Sonuç olarak kalite

sınıflandırması yardımıyla yaklaşık % 10'luk bir maliyet tasarrufu elde edilebileceği vurgulanmıştır [Aras ve ark., 2004].

Van der Laan ve Teunter, yeniden imalat yapan bir tesiste envanter kontrol politikası için bir sezgisel geliştirmişlerdir. Bu sezgiselle birlikte tesis yeniden imalat yerine ne zaman imalat yapması gerektiğine karar verebilmektedir. Yazarlar önerilen modelde itme ve çekme sistemleri için sezgisel yaklaşım kullanmışlardır. Modeller ayar, elde tutma ve sipariş erteleme maliyetleri üzerine kurulmuştur. Çalışmada imalat ve yeniden imalat için aynı temin sürelerinin olduğu varsayılmıştır [Van der Laan ve Teunter, 2004].

Hoshino ve Hitomi, optimum geri dönüştürme politikasının seçilmesi için temel oluşturacak teorik bir model önermişlerdir. Önerilen modelin temel amacını toplam karın maksimize edilmesi oluşturmaktadır. Çalışmada amaç programlama yaklaşımı kullanılmıştır [Hoshino ve Hitomi, 1995].

Li ve arkadaşları, taleplerin karşılanmasında yeni ve yeniden imal edilmiş ürünlerin kullanıldığı bir imalat sistemi için sipariş erteleme ve elden çıkarma maliyetlerinin dikkate alınmadığı çok ürünlü bir üretim planlama problemi üzerinde durmuşlardır. Sistemin toplam maliyetini minimize etmek üzere ürünlerin ne zaman ve ne kadar imal ya da yeniden imal edilmesi gerektiğini bulmak için optimizasyon modeli geliştiren yazarlar daha sonra yüksek geri dönüş oranları için dinamik programlama yaklaşımı kullanmışlardır [Li ve ark., 2006].

van der Laan ve arkadaşları, yeniden imalat için bir envanter modeli sunmuşlardır. Önerdikleri modele elden çıkarma fonksiyonunu da dahil eden yazarlar sezgisel modeller geliştirmişlerdir. Çalışmada, envanterin istenmeyen seviyelere ulaşması önlemek amacıyla ayrıştırma tesislerinde kullanılmış parçaların elden çıkarılması fikri esas alınmaktadır [van der Laan ve ark., 1996].

Lu ve Bostel yaptıkları çalışmada yeniden imalat opsiyonu kullanan tersine lojistik sistemler için tesis yer seçimi modeli kurmuşlar ve ileri ve geri akışı birlikte optimize

etmeye çalışmışlardır. İki aşama ve üç tip tesis içeren problem için karma tamsayılı programlama modeli geliştirilmiş, çözümünde Lagrange sezgisellerine dayalı bir algoritma kullanılmıştır. Çalışmada son olarak model, klasik test problemlerinden elde edilen veriler için test edilmiştir [Lu ve Bostel, 2007].

Savaskan ve arkadaşları, kullanılmış ürünlerin toplanmasını ele alan kapalı çevrim bir tedarik zinciri modeli oluşturmuşlardır. Çalışmada kullanılmış ürünlerin toplanmasında farklı stratejiler izleyen 3 değişik model kurulmuştur. İlk modelde ürünlerin müşterilerden doğrudan toplanması söz konusu iken ikincisinde perakendeciler aracılığıyla toplanması sonucunda ise dış kaynak kullanılması durumu incelenmiştir [Savaskan ve ark., 2004].

Souza ve arkadaşları, imalat ve yeniden imalat için optimum ürün karışımını bulmaya çalışmışlardır. Yazarlar, hizmet seviyesi kısıtları altında ürün karışımı kararlarının alınması için bir kuyruk sistemi tasarlamışlardır [Souza ve ark., 2002].

Linton ve arkadaşları, kullanılmış ürün akışı için bir tahmin modeli geliştirmişlerdir. Modellerinde belli miktardaki kullanılmış ürünün ters kanala dahil olamadığını tespit ederek yeterli miktarda teşvik uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir [Linton ve ark., 2002].

Guide ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada mevcut kaba kapasite planlama tekniklerini test etmişler, bunların yeniden imalat endüstrilerinin birçoğu için geçerli olan karmaşıklığı yeterince karşılayamadığını tespit etmişlerdir [Guide ve ark., 1996]. Guide ve arkadaşları tarafından çizelgeleme politikaları ve yeniden imalat için sevk etme politikalarının geliştirildiği birbirini izleyen makalelerde bu boşluk giderilmeye çalışılmıştır [Guide ve ark., 1997; Guide ve ark., 1998]. Guide ise yaptığı çalışmada yeniden imalat üretim planlaması ve kontrolü ile ilgili literatür araştırmasına ve literatürdeki eksikliklere yer vermiştir [Guide, 2000].

Ürünün ayrıştırılarak tüm bileşenlerine kalite denetimi yapılması sonucu ürüne ‘yeni’ özelliği kazandıran yeniden imalat, araştırmacıların dikkatini çeken oldukça önemli

bir konudur. Literatürde konuyla ilgili yer alan çok sayıda makalenin farklı bakış açılarından sınıflandırılması mümkündür.

Örneğin, pek çok yazar yeniden imalat sürecinde kalite belirsizliği ve yeniden imalat sistemlerinde kullanılmış ürün durumunun belirlenmesinin önemi üzerinde durmuştur. Bunlardan Guide ve arkadaşları, geri dönen ürünün durumuna bağlı olarak değişiklik arz eden işlem zamanlarını operasyonel açıdan incelemişlerdir [Guide ve ark., 2000]. Geri dönen ürünün durumu ürün iyileştirme stratejinin seçilmesinde önemli bir unsur oluşturduğundan durum değerlendirmesi ve sınıflandırılması için çok sayıda teknik geliştirilmiştir. Krikke ve arkadaşları, geliştirdikleri karma tamsayılı matematiksel programlama modelinde farklı dönen ürün kalitelerini dikkate almış ancak sabit yeniden imalat maliyeti kullanmışlardır [Krikke ve ark., 1999a].

Yeniden imalat operasyonlarını kullanılmış ürünlerin değişik durumlarını dikkate almadan modelleyen pek çok çalışmaya da rastlamak mümkündür. Savaskan ve arkadaşları, çalışmalarında geri dönüşlerin kalitelerinde olan belirsizlikleri ele alan çalışmaların giderek arttığını vurgulamışlardır. Daha önce de bahsedildiği gibi 3 farklı toplama opsiyonunu değerlendiren yazarlar geri dönen ürünlerin kalitesini homojen olarak ele almışlardır. Geri dönen ürünlerin % 100 verimlilikle yeniden satılmak üzere yeniden imal edildiğini varsaymışlardır [Savaskan ve ark., 2004].

Yeniden imalat operasyonlarında kullanılmış ürünlerin farklı durumlarının değerlendirilmesi için bazı yazarlar simülasyon kullanmışlardır. Fleischmann, dönen ürünlerin kalite belirsizliklerini modele dahil etmek için bir simülasyon modeli geliştirerek, bu modeli değişik tersine lojistik konfigürasyonlarını değerlendirmede kullanmıştır [Fleischmann, 2001]. Guide ve Srivastava yaptıkları çalışmada simülasyon modellerine stokastik işlem zamanlarını dahil ederek hava kuvvetleri deposu için farklı sipariş bırakma stratejilerini incelemişlerdir [Guide ve Srivastava, 1997a]. Yeniden imalat sistemleri için simülasyon modeli geliştirilen bir diğer çalışma Kara ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Çalışmada, Sidneyde hayat

çevrimini tamamlayan beyaz eşyaların toplanmasını konu edinen bir tersine lojistik ağı için simülasyon modeli geliştirilmiştir [Kara ve ark., 2007].

Literatürde farklı kalite seviyelerindeki kullanılmış ürünleri yönetebilmek için de çok sayıda model geliştirilmiştir. Klausner ve Hendrickson, geri dönen ürünlerin kalitelerinin arttırmaya yönelik teşviklerin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Dönen ürünlerin kalitesi arttıkça yeniden imalat verimliliğinin artacağını iddia etmişlerdir [Klausner ve Hendrickson, 2000]. Guide ve van Wassenhove, geri dönen telefonların kalitesini yönetmek için bir model geliştirerek işlem sürelerindeki değişiklikleri azaltmaya çalışmışlardır. Yapılan çalışmada geri dönüşlerin zamanlama, kalite ve maliyetlerinin yönetilmesi için bir yaklaşım önerilmiştir [Guide ve van Wassenhove, 2001]. Guide ve arkadaşları ise Guide ve Van Wassenhove tarafından yapılan çalışmayı genişleterek optimal elde etme politikası ve fiyatlandırmayı hesaba katmışlardır. Yazarlar çalışmalarında yeniden imalat yapan bir firmanın karını maksimize etmek üzerine yoğunlaşmışlardır [Guide ve ark., 2003]. Guide ve arkadaşları bu çalışmada kullanılmış ürünlerin 3. parti ayrıştırıcılardan alındığını ve alınan ürün durumlarına göre yeniden imalat maliyetlerinin önceden bilindiğini varsaymışlardır.

Jayaraman ve arkadaşları, Guide ve arkadaşları, Seitz ve Paettie gibi araştırmacılar yeniden imalat için tersine lojistik ağı tasarımının karakteristikleri üzerinde durmuşlardır. Jayaraman ve arkadaşları, karma tamsayılı bir matematiksel programlama modeli geliştirerek hem ileri hem de geri akışı modellemişlerdir [Jayaraman ve ark., 1999]. Guide ve arkadaşları, Seitz ve Peattie ise yeniden imalatın söz konusu olduğu kapalı çevrim tedarik zincirleri konusunda bir araştırma yapmışlardır [Guide ve ark., 2000; Seitz ve Peattie, 2004].

Literatürde yeniden imalat opsiyonu içinde envanter planlama ve kontrol konularını da inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yeniden imalat envanter literatürü; tür, kapsam, kullanılmış ürünlerin geri dönüşleriyle ilgili varsayımlar ve analiz seviyesi olmak üzere çeşitli özellikler dikkate alınarak aşağıdaki çizelgede sınıflandırılmıştır [Gaudette, 2003].

Çizelge 4.3. Yeniden imalat envanter literatürünün sınıflandırılması

Yazarlar	Tür	Kapsam	Açık/Kapalı Sistem	Analiz Seviyesi
Richter ve Dobos, [1999]	Deterministik	Melez	Açık	Son Ürün
Richter ve Weber, [2001]			Açık	Son Ürün
Golany, Yang ve Yu, [2001]			Açık	Son Ürün
Teunter ve van der Laan, [2002]			Kapalı	Son Ürün
Jayaraman, Guide ve Srivastava, [1999]		Y. İmalat	Kapalı	Son Ürün
Ferrer ve Whybark, [2001]			Kapalı	Parça
van der Laan, Salomon, Dekker ve van Wassenhove, [1999]	Stokastik	Melez	Açık	Son Ürün
Teunter, van der Laan ve Inderfurth, [2000]			Kapalı	Son Ürün
Toktay, Wein ve Zenios, [2000]			Kapalı	Parça
Inderfurth ve van der Laan, [2001]			Açık	Son Ürün
Kiesmuller ve van der Laan, [2001]			Kapalı	Son Ürün
Teunter ve Vlachos, [2002]			Açık	Son Ürün
Muckstadt ve Isaac, [1981]		Y. İmalat	Açık	Son Ürün
van der Laan, Dekker ve Salomon, [1996]			Açık	Son Ürün
Guide ve Srivastava, [1997a]			Açık	Parça

Deterministik envanter modelleri

Çizelge 4.3’de verilen çalışmaların üstteki 6 tanesi deterministik durumları ele alan makalelere örnek olarak verilebilir. Bu çalışmalardan ilk 4’ü bitmiş ürün talebini karşılamak amacıyla hem imalat hem de yeniden imalat operasyonlarının gerçekleştirildiği melez sistemleri ele alırken, diğer ikisi sadece yeniden imalat yapan

sistemleri değerlendirmişlerdir. Richter ve Dobos, bitmiş ürünlerin optimum parti miktarlarını belirleyebilmek için ekonomik sipariş miktarı mantığına dayanan bir analitik model kullanmışlardır. Richter ve Weber, bitmiş ürünlere ait imalat ve yeniden imalat partilerinin üretiminin zamanlamasını optimize etmek için tersine Wagner Within Algoritması kullanmışlardır. Golany ve arkadaşları, Richter ve Weber tarafından önerilen probleme kullanılmış ürünlerin elden çıkarılmasını da dahil etmişler, yeniden imalat ortamında maliyetler doğrusal olduğunda üretim planlama probleminin NP zor yapıdan ulaştırma problemine basitleştirilebileceğini göstermişlerdir. Teunter ve van der Laan çalışmalarında yeniden imalat envanter modellerinde iskontolu nakit akışlarının (Discounted Cash Flows) kullanılması için bir yaklaşım sunmuştur.

Kalan iki deterministik çalışma imalattan bağımsız olan yeniden imalat faaliyetlerine yoğunlaşarak envanter planlama yaklaşımları sunmuşlardır. Jayaraman ve arkadaşları son ürünlerin dağıtımı ve tesis yer seçim problemini eş zamanlı olarak ele alan bir model geliştirmişlerdir. Ferrer ve Whybark çalışmalarında, yeniden imalat sistemleri için MRP'ye dayalı bir malzeme yönetim modeli oluşturmuşlardır. Önerilen model montaj ve demontaj çizelgeleme ile bitmiş ürünler için gerekli kullanılmış parça miktarlarını optimize etmeye çalışmaktadır. Model yeniden imalat yapan bir tesis için malzeme yönetim sistemi sağlasa da kullanılmış parçaların elde edilen miktarları ve elde edilme zamanları konusunda bilgi vermemektedir. Yazarlar, son ürün yerine parça seviyesinde alınan planlama kararlarına yoğunlaşmışlardır.

Stokastik envanter modelleri

Çizelge 4.3'ün alt kısmı stokastik envanter modellerini göstermektedir. Muckstadt ve Isaac tarafından ve van der Laan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda yeniden imalat operasyonları bağımsız olarak incelenmiş ve son ürün seviyesinde elden çıkarma ve yeniden imalat kararları alınmıştır. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda ise genellikle imalat ve yeniden imalat operasyonlarının dahil edildiği melez sistemlerin formülasyonu ve çözümü verilmiştir. Diğer pek çok çalışmada da belirli yeniden imalat envanter konuları incelenmiştir. Elde tutma maliyetleri Teunter

ve arkadaşları, kullanılmış ürün fazlası için gerekli olan elden çıkarma opsiyonları Teunter ve Vlachos, belirsizliklere karşı tutulan güvenlik stokları Guide ve Srivastava tarafından işlenen konulardan bazılarını oluşturmaktadır. Son olarak Toktay ve arkadaşları kullanılmış ürünlerin geri dönüşlerini hesaplamak amacıyla kapalı sistem bir kuyruk modeli geliştirmişlerdir.

Stokastik yapıyı inceleyen yukarıdaki araştırmalardan sadece Guide ve Srivastava parça seviyesinde planlama konusunu incelemiştir. Toktay ve arkadaşları parça ihtiyaçlarını belirlemişler ancak yüksek maliyetli tek bir parçayı dikkate alarak tüm kullanılmış ürünlerden % 100 verimlilikte parçaların elde edildiğini varsayımlardır. Daha önce de belirtildiği gibi yazarlar, talebi ve geri dönüşleri kapalı bir kuyruk sistemi olarak modelleyerek, geri dönüş olasılıklarını güncelleyebilmek ve tahmin edebilmek için Bayes Teoremine dayanan bir prosedür geliştirmişlerdir. Yazarlar ayrıca geliştirdikleri kapalı çevrim kuyruk modeli için rastgele işlem zamanlarını da sisteme dahil etmişlerdir [Toktay ve ark., 2000].

Son olarak, aşağıdaki çizelgede çeşitli ürünlerin yeniden imalatını konu edinen ve analitik model sunan çalışmalara yer verilmiştir. van der Laan, bağımsız talebe sahip otomobil parçaları için envanter kontrol politikalarını incelemiştir. Kelle ve Silver yeniden kullanılabilir konteynırların geri dönüş oranlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada yazarlar geri dönüşümlü bir ağda yeni konteynırların satın alınan miktarlarını belirlemek üzere bir model geliştirmişlerdir. van der Laan ve arkadaşları, fotokopi makineleri ile otomobil parçalarının yeniden imalatını örnek alarak, bağımsız talepli stok kontrol modelleri için çok sayıda opsiyon belirlemişlerdir. Guide and Srivastava, yeniden imalat atölyeleri için çizelgeleme politikaları üzerinde durmuştur. Jayaraman ve arkadaşları, yeniden imal edilebilir ürünler için bir yerleşim modeli geliştirerek mobil telefon yeniden imal eden bir firmanın verilerini kullanmışlardır. Krikke ve arkadaşları Batı Avrupa'daki fotokopi makinesi imalatçıların tersine lojistik ağı tasarımı için farklı alternatifleri değerlendirmişlerdir. Toktay ve arkadaşları, kameralar için geri akışları tahmin etmeye çalışmışlardır. Thierry ve arkadaşları, ürünlerin yeniden kullanımına ilişkin çeşitli örnekler vererek ürün iyileştirme sürecine dahil olan bir çok firmanın

operasyonlarını araştırmışlardır. Üretim ve operasyonların yönetilmesinde ürün geri dönüşümünün etkili olacağı sonucuna varmışlardır.

Çizelge 4.4. Çeşitli ürünlerin yeniden imalatını işleyen makale örnekleri [Guide ve ark., 2003]

Yazar	Ürün tipi	Konu
Van der Laan ve ark., [1999]	Fotokopi makineleri	Envanter kontrol politikaları
Toktay ve ark., [2000]	Kamera	Envanter kontrol politikaları
Guide ve Srivastava [1998]	Jet motoru parçaları	Kısa dönem çizelgeleme politikaları
Jayaraman ve ark., [1999]	Telefonlar	Geri dönen ürünlerin yönetimi
van der Laan, [1997]	Otomobil parçaları	Envanter kontrol politikaları
Kelle ve Silver, [1989]	Konteynrlar	Geri dönen ürünler için tahmin
Thierry ve ark., [1995]	Fotokopi makineleri	Örnek olay
Krikke ve ark., [1999a]	Fotokopi makineleri	Tesis yer seçimi ve ağ tasarımı

4.3.3. Yeniden kullanım

Bir diğer çevre dostu iyileştirme tekniği olarak yeniden kullanımdan bahsedilebilir. Yeniden kullanım da tıpkı yeniden imalat gibi geri dönüştürme işlemi ile karşılaştırıldığında bazı araştırmacılar tarafından daha karlı olarak değerlendirilmektedir [Klausner ve Hendrickson, 2000]. Konteynır, şişe, palet gibi yeniden kullanılabilir parçalar az miktarda yeniden işleme (temizleme, muayene gibi) gerektirmektedir [Fleischmann ve ark., 2000].

Yeniden kullanım alanında literatür paketleme, ayrıştırma ve lojistik ağını konu edinen çalışmalar olmak üzere üç sınıfta incelenebilir [Setaputra, 2005]. Matthews, Rosenau ve arkadaşları, Prendergast ve Pitt, Goldsby ve Closs yaptıkları

Çalışmalarda bir kullanımlık konteynırlar yerine yeniden kullanılabilir konteynır kullanımının faydalarını ele almışlardır. Yeniden kullanılabilir paketler ilk etapta daha fazla maliyet gerektirse de sonradan daha az atık oluşturacağı ve böylece çevre ile ilgili maliyetleri azaltacağından daha ekonomik olabilmektedir [Matthews, 2004; Rosenau ve ark., 1996; Prendergast ve Pitt 1996; Goldsby ve Closs 2000]. Rosenau ve arkadaşları firmaların yeniden kullanılabilir paketleri masraf olarak değil değer olarak görmeye başladıklarını iddia etmişlerdir [Rosenau ve ark., 1996].

Yeniden kullanım söz konusu olduğunda ayrıştırma yapılırken, geri dönüştürme işlemine hatta yeniden imalat işlemine göre çok daha dikkatli olunması gerekmektedir [Setaputra, 2005]. Diğer taraftan yeniden kullanım sürecinin gerektirdiği ağ tasarımı yeniden imalatınkinden farklıdır. Yeniden kullanım sürecinde bir miktar konteynırın sistemde sürekli var olduğu varsayılır. Amaç kullanılmış konteynırların kullanım noktasından talep noktasına etkili şekilde hareketinin sağlanmasıdır. Duhaime ve arkadaşları çalışmalarında Kanada postanesindeki yeniden kullanılabilir konteynırları incelemişlerdir. Mevcut konteynır miktarının talebi karşılamak için yeterli olduğu sonucuna varmışlardır [Duhaime ve ark., 2001].

4.3.4. Geri dönüşüm

Geri dönüştürme işlemi şişe ve kağıt dönüşümünü sağlamak üzere uzun yıllardır kullanılan bir yöntemdir. Literatürde geri dönüştürmeyi ele alan çok sayıda çalışma mevcuttur. Biswas ve arkadaşları çalışmalarında Amerika’da 1995 yılında yapılan bir araştırmaya yer vermişleridir. Bu araştırma ile Amerikan tüketicilerin oluşturdukları atıkların % 27’sinin iyileştirildiği kalan kısmın ise atık arazilerine ya da elden çıkarılmak üzere tesislere gönderildiği belirtilmiştir. Atık için ayrılan arazi kapasiteleri kısıtlı olduğundan hayat çevrimini tamamlamış ürünün gömülmesi uzun dönemli bir çözüm değildir. Geri dönüştürme hem çevreci bir çözüm oluşturması hem de ekonomik nedenlerle tercih edilebilecek alternatifler arasında yer almaktadır [Biswas ve ark., 2000]. Geyer ve Jackson yaptıkları çalışmada geri dönüştürme işleminin firmaların kanunlara uyum sağlamada en kolay metotlardan biri olduğunu,

bu yüzden de kullanılan en yaygın tersine lojistik faaliyeti olduğunu iddia etmişlerdir [Geyer ve Jackson, 2004]. Knemeyer ve arkadaşlarına göre geri dönüştürme işlemi; toplama ve hayat çevrimini tamamlamış ürünlerin temel bileşenlerinin iyileştirilmesi için tamamen ayrıştırma ya da ürünü parçalarına ayırma operasyonlarını içermektedir. Kullanıcı tarafından artık istenmeyen bir bilgisayardan cam, metal ve plastik elde edilmesi bu duruma örnek teşkil etmektedir [Knemeyer ve ark., 2002].

Ibenholt ve Lindhjem, geri dönüştürme işleminin maliyet etkin bir yöntem olup olmadığını irdelenmiştir [Ibenholt ve Lindhjem, 2003]. Bowerman, Zikmund ve Stanton ve Jahre çalışmalarında yeni bir ürün akışı ya da geri akış için ayrı bir kanalın tasarlanmasına ihtiyaç duyulacağını belirtmişlerdir. Bowerman, Amerika’da katı atıkların yönetilmesi, katı atıkların elden çıkarılması ile ilgili yaşanan teknolojik gelişmeler ve hükümetin geri dönüşümü teşvik etmek için uyguladığı stratejiler üzerinde durmuştur [Bowerman, 1972]. Zikmund ve Stanton çalışmalarında tüketici tarafından oluşan atık malzemelerle baş edebilmede kullanılabilecek alternatif kanalları araştırmışlar ayrıca bu malzemelerin geri dönüşümünde karşılaşılan pazar problemlerini incelemişlerdir [Zikmund ve Stanton, 1971]. Jahre ise çalışmasında geri dönüşüm ile ilgili literatür araştırmasına yer vermiş, ayrıca evsel atıkların müşterilerden toplanması işlemi için çok sayıda farklı plan geliştirmiştir [Jahre, 1995].

Highfill ve McAsey tarafından hayat çevrimini tamamlayan bir ürünü atık arazine gönderme ile daha pahalı bir operasyon olan geri dönüştürme işlemi arasında trade off analizi yapılmıştır [Highfill ve McAsey, 2001].

Klausner ve Hendrickson, geri dönüştürme operasyonunu bir pazarlama problemi olarak görmüşler ve ürünün geri dönmesi için sağlanan finansal teşviklerin hayat çevrimini tamamlayan ürünlerin arzını nasıl etkilediğini araştırmışlardır [Klausner ve Hendrickson, 2000].

Tucker ve arkadaşları, müşterilerin geri dönüştürme politikasına olan tepkisini incelemişlerdir. Yazarlar, katı atık dönüşümünün etkili bir şekilde planlanması ve

yönetilmesi için bilgisayar tabanlı bir karar destek modeli geliştirmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise gazetelerin geri toplanmasını bir bilgisayar programı ile simule ederek geri dönüşüm performansının müşteri davranışıyla ilişkisini incelemişlerdir [Tucker ve ark., 1998; 2000].

4.3.5. Elden çıkarma

Elden çıkarma hiçbir geri dönüştürme opsiyonu uygulanamadığı durumlarda atıklardan kurtulmak için başvurulmuş bir yöntemdir. Tersine lojistiğin amacı ürün ya da malzemeleri yeniden kullanarak atık miktarının minimize edilmesidir, ancak atıkların her zaman değerlendirilmesi mümkün olmayabilmektedir. Bütün geri dönüştürme yöntemleri, operasyonlara ve bununla ilişkili olarak elden çıkarma maliyetlerine katlanmayı gerektirir. Bu maliyetleri yöntem seçimini etkileyen en önemli unsurlardan birini oluşturur. Literatürde çok kez ele alınan konulardan birisi atıkların zararlı olup olmadığıdır. Zararlı atıklar çevreyi daha fazla tehdit ettiğinden zararsız olanlardan daha ciddi bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Atık iyileştirme ve elden çıkarma konusunda uzmanlaşmış firmalar bulunmaktadır. Bu firmalara yeniden kullanılamayan ürünler gönderilerek elden çıkarılabilmektedir. Kullanılan iyileştirme yöntemi ve atık tipine göre elden çıkarma maliyeti değişmektedir. Zararlı atıkların elden çıkarılması daha pahalıya mal olmaktadır. Zararsız atıklar yakılarak ya da gömülerek elden çıkarılabilmektedir [French, 2002].

Elden çıkarma operasyonu ile ilgili bazı planlama konuları Melnyk ve arkadaşları tarafından ele alınmıştır. Çalışmada, atıkların iyileştirilmesini de içeren planlama prosedürler yeşil MRP olarak nitelendirilmiştir. Yazarlar bir diğer çalışmalarında ise bir önceki çalışmada geliştirilen yeşil MRP'nin örnek bir olay üzerinde uygulanabilirliğini göstermişlerdir [Melnyk ve ark., 1999; 2001].

5. YENİDEN İMALAT SİSTEMLERİ İÇİN BÜTÜNLEŞİK LOJİSTİK AĞI TASARIMI ve BİR KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ

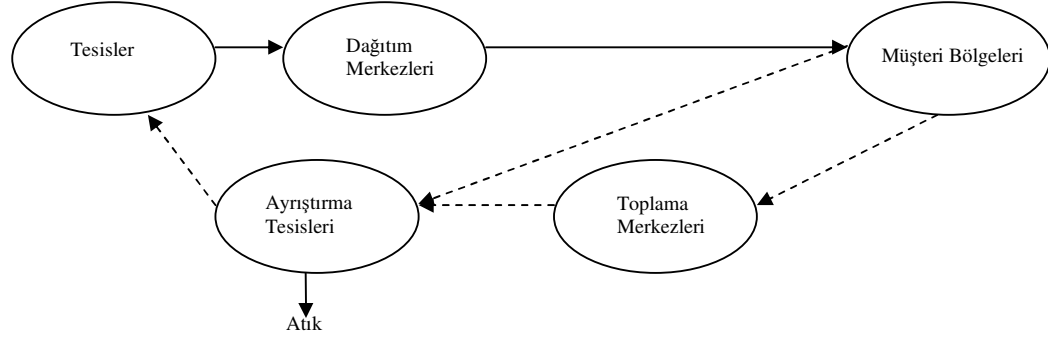
5.1. Problemin Tanımı

Tersine lojistikte önemli bir karar noktası, ileriye ve geriye doğru kanalların nasıl bütünleştirileceğidir. Etkin bir tersine lojistik kanalının tasarımı ileri kanaldan farklı olarak hangi tesislerin ve toplama, ayırıştırma gibi faaliyetlerden hangilerinin bulunacağı, bu faaliyetlerin nerede gerçekleşeceği, ileriye ve geriye doğru kanalların arasındaki ilişkilerin neler olacağı dikkate alınmalıdır.

Bu bölümde yeniden imalat uygulayan, ileri ve geri yönlü akışı içeren bir lojistik şebekesi için bütünleşik bir model konfigürasyonu geliştirilmiştir. Tesisler arasında doğru ürünlerin, doğru miktarlarda taşınmasını sağlamak ve hangi tesislerin hangi lokasyonlarda açılacağına karar vermek amacıyla, ürünlerin geri dönüşümünü ele alan modelin çözülmesiyle birlikte üretim, taşıma, satın alma, toplama, ayırıştırma ve elden çıkarma maliyetlerinin toplamı minimize edilmeye çalışılmıştır. Literatürde yeniden imalat konusunu ele alan bir çok çalışma olmasına rağmen bunlar genellikle ya örnek olaylar üzerinde yoğunlaşmış ya da yeniden imalat ortamında envanter yönetimi gibi spesifik konuları ele almıştır. Literatürde yeniden imalat ortamı için genel bir ağ tasarımı ve matematiksel modelini işleyen yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır [Kim ve ark., 2006].

Tersine akışı modelleyen lojistik şebekelerinde, kullanıcıları tarafından istenmeyen ürünlerin toplanmasıyla müşterilerden tesislere doğru bir akış meydana gelir. Toplanan ürünler, kalite denetimlerinden geçer, yeniden işlenir ve yeniden dağıtılır. Şekil 5.1’de ürünlerin geri kazanımında yeniden imalat stratejisi uygulayan ve hem ileri hem de geri akışı içeren bütünleşik bir lojistik şebekesi görülmektedir. Şekilde, tesislerde üretilen ürünler dağıtım merkezlerine buradan da müşteri bölgelerine gönderilmektedir. Müşteri bölgelerindeki ürünler ise hayat çevrimlerini tamamlamış olmaları, kusurlu olmaları, spesifikasyonlara uygun olmamaları vb. nedenlerle toplama merkezlerinde toplanmakta ya da daha az maliyete katlanılması durumunda

doğrudan ayrıştırma tesislerine gönderilmektedir. Ayrıştırma tesisleri toplama merkezlerinden veya müşterilerden aldıkları ürünleri teste tabi tutmakta, uygun kalitede olan ürünleri alt montaj parçalarına ayrıştırarak ve elde edilen parçaları iyileştirme sürecine tabi tutarak onlara ‘yeni’ özelliği kazandırmaktadır.



Şekil 5.1. İleri ve geri akışı içeren bir lojistik şebekesi

‘yeni’ özelliği kazanan parçalar ise tesislere gönderilmekte, burada tedarikçilerden satın alınan yeni parçalar ile birlikte ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Önerilen modelde, yeniden imal edilen ürünlerin üretim maliyetinin yeni parçalar kullanılarak üretilen ürünlerinkinden daha düşük olduğu ve bunların yeni ürünlerle aynı kalite spesifikasyonlarını taşıdığı düşünülmüştür. Modelde ayrıca, geri dönen ürünlerin tamamının toplanacağı ve yeniden imalat için kalite standartlarını sağlayan miktarın tamamının ayrıştırma işlemine tabi tutulacağı varsayılmıştır. Kalite standartlarını sağlamayan kısım ise yok etme maliyetine katlanılarak elden çıkarılmaktadır. Yani elden çıkarma opsiyonu ve getireceği maliyetler modele dahil edilmiştir. Modelde, elden çıkarma ve toplama maliyetleri tüm tesisler için aynı kabul edilmiştir. Sınıflandırma ve test işlemleri ayrıştırma tesislerinde gerçekleştirildiğinden model, daha az mesafeye katlanması durumunda kullanılmış ürünlerin doğrudan araştırma tesislerine taşınabilmesi durumunu değerlendirmektedir. Modelde ayrıca tesis kapasitelerinin her bir ürün için ayrı ayrı sınırlandırılması ile gerçek hayata daha uygun bir yapı elde edilmiştir.

5.2. Model

5.2.1. Notasyonlar

İndisler

i ürün

k üretim tesisi

l dağıtım merkezi

n toplama merkezi

m müşteri bölgesi

p ayırıştırma tesisi

Parametreler

f_p : p ayırıştırma tesisini açık tutma maliyeti

f_l : l dağıtım merkezini açık tutma maliyeti

f_n : n toplama merkezini açık tutma maliyeti

t_i : birim i ürününü km başına taşıma maliyeti

a_i : i ürününden elde edilen bileşen parça sayısı

DC_i : birim i ürününü elden çıkarma maliyeti

CC_i : birim i ürününü toplama maliyeti

TD_i : i ürünü için toplam talep

s_i : i ürününden geri dönen miktar

b_i : toplanan i ürününün yeniden imalat için kalite standartlarını karşılayan kısmı

D_{im} : m müşteri bölgesinin i ürünü talebi

c_{ik} : i ürününü k tesisinde birim üretim maliyeti

d_{ip} : p tesisinde i ürününü birim ayırıştırma maliyeti

CAP_{ik} : k üretim tesisinin i ürünü üretim kapasitesi

CAP_{ip} : p ayırıştırma tesisinin i ürünü ayırıştırma kapasitesi

CAP_{in} : n toplama merkezinin i ürünü toplama kapasitesi

CAP_{il} : l dağıtım merkezinin i ürünü kapasitesi

CAP_k : k üretim tesisinin parça tutma kapasitesi

b_{kl} : k üretim tesisi ile l dağıtım merkezi arası uzaklık (km)
 b_{lm} : l dağıtım merkezi ile m müşteri bölgesi arası uzaklık (km)
 b_{np} : n toplama merkezi ile p ayrıştırma tesisi arası uzaklık (km)
 b_{pk} : p ayrıştırma tesisi ile k üretim tesisi arası uzaklık (km)
 b_{mp} : m müşteri bölgesi ile p ayrıştırma tesisi arası uzaklık (km)
 b_{mn} : m müşteri bölgesi ile n toplama merkezi arası uzaklık (km)
 t : km başına birim parça taşıma maliyeti
 PC : birim parça satın alma maliyeti

Karar Değişkenleri

x_{ikl} : k üretim tesisinden l dağıtım merkezine taşınan i ürünü miktarı
 x_{ilm} : l dağıtım merkezinden m müşteri bölgesine taşınan i ürünü miktarı
 x_{imn} : m müşteri bölgesinden n toplama merkezine taşınan i ürünü miktarı
 x_{inp} : n toplama merkezinden p ayrıştırma tesisine taşınan i ürünü miktarı
 x_{imp} : m müşteri bölgesinden p ayrıştırma tesisine taşınan i ürünü miktarı
 x_{pk} : p ayrıştırma tesisinden k üretim tesisine taşınan bileşen parça miktarı
 q_{ik} : k tesisinde üretilen i ürünü miktarı
 Q_k : k tesisine satın alınan parça miktarı
 y_p : p tesisinin açılıp açılmaması ile ilgili 0-1 değişken
 y_l : l tesisinin açılıp açılmaması ile ilgili 0-1 değişken
 y_n : n tesisinin açılıp açılmaması ile ilgili 0-1 değişken

5.2.2. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar

Min

$$\begin{aligned}
 & \sum_p f_p \cdot y_p + \sum_l f_l \cdot y_l + \sum_n f_n \cdot y_n + \sum_i \sum_k c_{ik} \cdot q_{ik} + \sum_i \sum_k \sum_l t_i \cdot x_{ikl} \cdot b_{kl} + \\
 & \sum_i \sum_l \sum_m t_i \cdot x_{ilm} \cdot b_{lm} + \sum_i \sum_m \sum_n t_i \cdot x_{imn} \cdot b_{mn} + \sum_i \sum_n \sum_p t_i \cdot x_{inp} \cdot b_{np} + \sum_i \sum_m \sum_p t_i \cdot x_{imp} \cdot b_{mp} + \\
 & \sum_p \sum_k t \cdot x_{pk} \cdot b_{pk} + \sum_i \sum_p b_i \cdot s_i \cdot d_{ip} \cdot TD_i + \sum_i (1 - b_i) \cdot s_i \cdot DC_i \cdot TD_i + \sum_i s_i \cdot CC_i \cdot TD_i + \\
 & PC \cdot \sum_k Q_k
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

$$q_{ik} \leq CAP_{ik} \quad \forall i, k \quad (5.2)$$

$$q_{ik} = \sum_l x_{ikl} \quad \forall i, k \quad (5.3)$$

$$\sum_l x_{ilm} = D_{im} \quad \forall i, m \quad (5.4)$$

$$\sum_n x_{imn} + \sum_p x_{imp} = s_i \cdot \sum_l x_{ilm} \quad \forall i, m \quad (5.5)$$

$$\sum_k x_{pk} = \sum_i \sum_m x_{imp} \cdot b_i \cdot a_i + \sum_i \sum_n x_{inp} \cdot b_i \cdot a_i \quad \forall p \quad (5.6)$$

$$\sum_k x_{ikl} = \sum_m x_{ilm} \quad \forall i, l \quad (5.7)$$

$$\sum_m x_{imn} = \sum_p x_{inp} \quad \forall i, n \quad (5.8)$$

$$\sum_n x_{inp} + \sum_m x_{imp} \leq CAP_{ip} \cdot y_p \quad \forall i, p \quad (5.9)$$

$$Q_k + \sum_p x_{pk} \leq CAP_k \quad \forall k \quad (5.10)$$

$$\sum_k x_{ikl} \leq CAP_{il} \cdot y_l \quad \forall i, l \quad (5.11)$$

$$\sum_m x_{imn} \leq CAP_{in} \cdot y_n \quad \forall i, n \quad (5.12)$$

$$\sum_i q_{ik} \cdot a_i = Q_k + \sum_p x_{pk} \quad \forall k \quad (5.13)$$

$$TD_i = \sum_m D_{im} \quad \forall i \quad (5.14)$$

$$x_{ikl}, x_{ilm}, x_{imn}, x_{inp}, x_{imp}, x_{pk}, q_{ik}, Q_k \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (5.15)$$

$$y_n, y_l, y_p \in \{0, 1\} \quad (5.16)$$

Modelde, Eş. 5.1 tüm maliyetleri içeren amaç fonksiyonu değeridir, Eş. 5.2 her bir k tesisi için üretilen i ürünü miktarının üretim kapasitesini aşamayacağını belirten

kapasite kısıtını ifade etmektedir, Eş. 5.3 üretim tesislerinde üretilen ürün miktarının dağıtım merkezlerine taşınmasını sağlayan akış kısıtıdır, Eş. 5.4 müşteri bölgelerinin i ürünlerine olan taleplerinin karşılanmasını sağlamaktadır, Eş. 5.5 müşteri bölgelerinden dönen ürün miktarlarını dengeleyen kısıttır, Eş. 5.6 p ayrıştırma tesisleri için giren ürün miktarı ile çıkan parça miktarını dengeleyen akış kısıtıdır, Eş. 5.7 ve 5.8 l dağıtım tesisleri ile n toplama tesisleri için giren ürünle çıkan ürün miktarını dengeler, Eş. 5.9 her bir ayrıştırma tesisi için tesis açıldığı taktirde tesise gelen miktarların tesis kapasitesini aşmasını önlemektedir, Eş. 5.10, üretim tesislerinin parça kapasitesini sınırlayan kısıttır, satın alınan ve ayrıştırma tesislerinden gelen parça miktarının tesisin parça tutma kapasitesini aşmasını önlemektedir, Eş. 5.11 ve 5.12 dağıtım merkezleri ve toplama merkezleri için bu tesislere gönderilen ürün miktarlarının kapasiteyi aşamayacağını ifade etmektedir, Eş. 5.13 üretim için gerekli parça miktarını sağlayan kısıttır, Eş. 5.14 müşteri bölgelerinin talepleri toplamını toplam talebe eşitleyen kısıttır, Eş. 5.15 ve 5.16 negatif olmama, tamsayı ve 0-1 değişkenlere ait kısıtları göstermektedir.

5.3. Örnek Problem 1

Şekil 5.1’de verilen bütünleşik lojistik şebekesi 3 tesis (k_1, k_2, k_3), 2 aday dağıtım merkezi (l_1, l_2), 2 aday toplama merkezi (n_1, n_2), 2 aday ayrıştırma tesisi (p_1, p_2) ve 3 müşteri bölgesi (m_1, m_2, m_3) içerecek şekilde karma tamsayılı programlama modeli olarak modellenmiştir. Sistemin toplam maliyetini minimize etmek üzere işletmeler arasında taşınacak olan ürün miktarları ile ayrıştırma, dağıtım ve toplama merkezlerinin açılıp açılmama kararlarının belirlenebilmesi amacıyla model GAMS-CPLEX ile Pentium IV, 3 Ghz işlemcili ve 1Gb RAM’e sahip bir bilgisayarda çözülmüştür.

Problemde aday tesislerin sabit maliyetleri 1. ayrıştırma tesisi, 2. ayrıştırma tesisi, 1. dağıtım merkezi, 2. dağıtım merkezi, 1. toplama merkezi ve 2. toplama merkezi için sırasıyla 20 000, 25 000, 10 000, 7 500, 6 000 ve 8 000 olarak belirlenmiştir. Probleme ait diğer parametreler Ek-1’de verilmiştir. Örnek problem, 92 iterasyonda ve 0,062 saniyede çözülmüştür. Bu modele ait minimum maliyet 1 149 870 para

birimi olarak bulunmuştur. Model, aday dağıtım ve ayrıştırma tesislerinin her ikisinin de, toplama tesislerinin ise yalnız birincisinin açılmasına karar vermiştir. Her bir üretim tesisine satın alınan parça miktarları sırasıyla ilk üretim tesisi için 1 632, ikinci üretim tesisi için 9 300 ve son üretim tesisi için de 8 940 adet olarak belirlenmiştir.

Geri kazanım opsiyonu olarak yeniden imalat stratejisi uygulayan bütünleşik sistem modelinin çözülmesiyle elde edilen diğer değerler çizelge 5.1-5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.1, optimum çözümde dış tedarikçilerden satın alınan yeni ya da ayrıştırma tesislerinden ‘yeni’ özelliği kazanmış olarak gönderilen parça/bileşenler kullanılarak her bir üretim tesisinde üretilen ürün miktarlarını göstermektedir.

Çizelge 5.1. Üretim tesislerinde üretilen ürün miktarları

Ürünler	Üretim tesisleri		
	k1	k2	k3
Ürün 1	500	1000	1700
Ürün 2	100	2100	1500

Çizelge incelendiğinde üretimin büyük kısmının ikinci ve üçüncü üretim tesislerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni birinci tesisteki birim üretim maliyetlerinin bu tesislere nazaran daha yüksek olması ve taşıma uzaklıklarından da bu maliyet farkını kapatacak kadar avantaj sağlayamamasıdır.

Kullanılmış ürünler kullanıcılarına artık kullanıcılarına fayda sağlamadıklarında bunların bir kısmı kanunları yerine getirmek, bilinçli müşteri beklentilerini karşılayabilmek ya da kar elde etmek gibi amaçlarla tedarik zincirine yeniden dahil edilmektedir. Çizelge 5.2, yukarıda sayılan nedenlerin bir ya da bir kaçının sonucu olarak toplama merkezlerinde toplanan ürün miktarlarını göstermektedir.

Çizelge 5.2. Müşteri bölgelerinden toplama merkezlerine taşınan ürün miktarları

Müşteri bölgeleri	Toplama Merkezleri			
	n1		n2	
	Ürün 1	Ürün 2	Ürün 1	Ürün 2
m1	110	20		
m2	200	150		
m3	290	120		

Örnek problem stratejik seviyedeki kararları ilgilendirdiğinden burada geri dönen ürün miktarlarının talebe bağlı olduğu ve talep miktarlarının önceden bilindiği varsayılmıştır. Bu bakımdan geri dönen ürün miktarları her bir ürün için talebin bir yüzdesi olarak alınmıştır. Çizelge 5.2 incelendiğinde hayat çevrimini tamamlayan ve kullanıcıları tarafından istenmeyen ürünlerin ikinci toplama merkezinde toplanmadığı görülmektedir. Bunun nedeni, modelin minimum maliyeti sağlamak üzere optimal çözümde ikinci toplama merkezinin açılmamasına karar vermiş olmasıdır.

Gerçek hayatta, taşıma maliyetleri toplam sistem maliyetinin önemli bir bölümünü oluşturduğundan bu maliyetler firmaların taşıma kararlarını etkileyen en önemli unsuru teşkil etmektedir. Model, hayat çevrimini tamamlayan ürünlerin müşteri bölgelerinden toplama merkezlerine uğramadan doğrudan ayrıştırma tesislerine taşınması daha az maliyetli olduğunda bunu mümkün kılacak şekilde tasarlanmıştır. Müşteri bölgelerinden ayrıştırma tesislerine taşınan ürün miktarları çizelge 5.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.3. Müşteri bölgelerinden ayrıştırma tesislerine taşınan ürün miktarları

Müşteri bölgeleri	Ayrıştırma tesisleri			
	p1		p2	
	Ürün 1	Ürün 2	Ürün 1	Ürün 2
m1			40	80
m2				
m3				

Ayrıştırma tesislerine gelen ürünler burada kalite durumlarının tespit edilmesi için çeşitli testlere tabi tutulmakta uygun kalitede olanlar yeniden imalata katılmak üzere bileşenlerine ayrıştırılmaktadır. Burada elde edilen bileşen/parçalara çeşitli iyileştirme faaliyetleri uygulanarak yeni parçalarla aynı özellikler kazandırılmaktadır. ‘yeni’ özelliği kazanan parçalar üretime dahil edilmek üzere üretim tesislerine gönderilmektedir. Ayrıştırma tesislerinden üretim tesislerine gönderilen miktarlar çizelge 5.4’de gösterilmektedir. Bu bileşen/parçalar kullanılarak üretilen ürünler, yeni ürünlerle aynı kalite standardında olmakla birlikte “yeniden imal edilmiş ürün” olarak nitelendirilmektedir.

Çizelge 5.4. Ayrıştırma tesislerinden üretim tesislerine taşınan bileşen/parça miktarları

Ayrıştırma tesisleri	Üretim tesisleri		
	k1	k2	k3
p1	168		
p2			660

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, üretim tesislerine taşınan bileşen/parça miktarlarının ayrıştırma tesislerine, toplama merkezlerinden ya da müşteri bölgelerinden gelen kullanılmış ürün miktarlarına ve bunların kalitelerine bağlı olduğudur. Örneğin ilk ayrıştırma tesisi için, optimum çözümde toplama merkezlerinden buraya taşınan birinci tip ürün miktarı 40, ikinci tip ürün miktarı 120 (Bkz. Şekil 5.2) ve bu ürünlere ait kabul oranları örnek problemde sırasıyla 0,40 ve 0,20 olarak alındığından birinci ayrıştırma tesisinden üretim tesislerine taşınan toplam bileşen/parça miktarı şu şekilde hesaplanabilir; $(40 \cdot 0,20 + 120 \cdot 0,40) \cdot 3 = 168$. Burada parantez içindeki değer 3 ile çarpılma nedeni bir birim ürünün ayrıştırılmasıyla elde edilecek bileşen/parça sayısının örnek problemde 3 olarak kabul edilmesidir. Elde edilen 168 değeri Şekil 5.2’de tüm üretim tesislerine birinci ayrıştırma tesisinden taşınan toplam miktara eşittir.

Optimum çözümde üretim tesislerinden dağıtım merkezlerine taşınan ürün miktarları, dağıtım merkezinden müşteri bölgelerine talepleri karşılamak üzere taşınan ürün

miktarları ve toplama merkezlerinden ayrıştırma tesislerine gönderilen kullanılmış ürün miktarları çizelge 5.5-5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Üretim tesislerinden dağıtım merkezlerine taşınan ürün miktarları

Üretim tesisleri	Dağıtım Merkezleri			
	11		12	
	Ürün 1	Ürün 2	Ürün 1	Ürün 2
k1	500	100		
k2	250	1100	750	1000
k3	1700	1500		

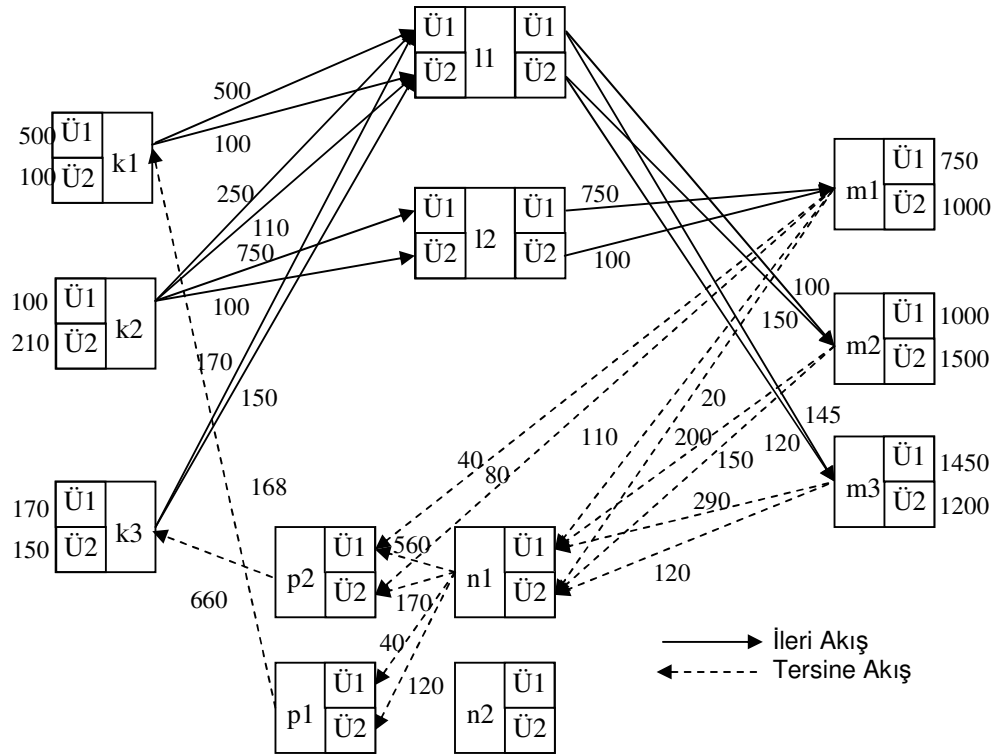
Çizelge 5.6. Dağıtım merkezlerinden müşteri bölgelerine taşınan ürün miktarları

Dağıtım merkezleri	Müşteri bölgeleri					
	m1		m2		m3	
	Ürün 1	Ürün 2	Ürün 1	Ürün 2	Ürün 1	Ürün 2
11			1000	1500	1450	1200
12	750	1000				

Çizelge 5.7. Toplama merkezlerinden ayrıştırma tesislerine taşınan ürün miktarları

Toplama merkezleri	Ayrıştırma tesisleri			
	p1		p2	
	Ürün 1	Ürün 2	Ürün 1	Ürün 2
n1	40	120	560	170
n2				

Örnek problemin çözülmesiyle elde edilen optimal çözüm değerleri aşağıdaki şekilde ayrıca özetlenmiştir. Probleme ait Gams modeli Ek-2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Örnek problem 1 için optimum sonuçlar (Ü1-ürün 1, Ü2- ürün)

5.4. Modelin Test Edilmesi ve Duyarlılık Analizi

Bu bölümde ileri ve tersine akışı içeren bütünleşik bir sistem için geliştirilen model değişik boyutlarda test problemleri üretilerek test edilmiştir. Ayrıca modelin farklı geri dönüş oranlarında nasıl davrandığının belirlenebilmesi amacıyla her bir problem büyüklüğü, önemli bir model parametresi olan geri dönüş oranlarının 0,1-1 değerleri için ayrı ayrı çözülmüştür. Böylece meydana gelebilecek düşük, orta ve yüksek geri dönüş oranlarında modelin davranışını görme imkanı sağlanmıştır. Farklı geri dönüş oranları için ürün sayıları 2-20, üretim tesisi sayıları 2-20, dağıtım merkezi sayıları 2-25, müşteri sayıları 3-200, toplama ve ayrıştırma tesisi sayıları ise 2-20 alınarak 310 farklı problem çözülmüştür. Problemlere ait parametreler uniform dağılıma uygun olarak üretilmiştir. Problem parametreleri ve kullanılan parametre aralıkları çizelge 5.8'de verilmektedir. Burada taşıma maliyetleri bir birim ürünü km başına taşıma maliyeti olarak, talep miktarları ise müşteri bölgelerinin her bir ürün tipi için ayrı ayrı talebi cinsinden ifade edilmektedir. Farklı problem büyüklerinin elde edilmesi

için parametre aralıkları belirlenirken talep ve tesis kapasitelerinin ilişkisinin dikkate alınması gerekmektedir. Aksi takdirde uygun çözüm elde edilememektedir. Bu yüzden imalat, dağıtım, toplama, ayrıştırma tesislerinin her birinin farklı ürün tipleri için kapasiteleri belirlenirken müşteri bölgelerinin o ürün için oluşabilecek toplam talep miktarları göz önüne alınmış, kapasiteler talebi karşılayacak şekilde belirlenmiştir. Böylece sistemdeki bütün tesislerin her bir ürün için kapasite miktarlarının o ürün için gerçekleşebilecek maksimum talep toplamından daha az olması engellenmiştir.

Çizelge 5.8. Rastgele problem üretiminde kullanılan parametre aralıkları

Parametre	Aralık
Taşıma maliyetleri	0,01-0,05
Toplama maliyetleri	0,5-5
Elden çıkarma maliyetleri	1-5
Ayrıştırma maliyetleri	5-10
Üretim maliyetleri	250-300
Dağıtım merkezi açma maliyeti	15 000-25 000
Toplama merkezi açma maliyeti	8 000-15 000
Ayrıştırma merkezi açma maliyeti	20 000-30 000
Talep miktarları	100-200
Uzaklıklar	100-1 000

5.5. Test Sonuçları

Uniform dağılıma uygun olarak üretilen farklı test problemleri karma tamsayılı matematiksel programlama modeline dönüştürülerek Pentium IV, 3 Ghz işlemcili 1 Gb RAM'li bir bilgisayarda GAMS-CPLEX ile çözülmüştür. Test problemlerinin üretilmesi ve GAMS modeline dönüştürülmesi için Visual Basic programlama dili kullanılarak bir yazılım oluşturulmuştur. 2, 5 ve 10 ürün çeşidi için farklı sayılarda müşteri bölgesi, dağıtım merkezi, üretim tesisi, toplama merkezi ve ayrıştırma tesisi içeren problem boyutlarının 0,1-1 geri dönüş oranlarında çözüm sonuçları ve CPU

zamanları çizelge 5.9-5.11’de verilmiştir. 15 ve 20 ürün çeşidi için benzer çizelgeler ise Ek-3’de yer almaktadır.

Çizelge 5.9. 2 ürünlü problemler için hesaplama sonuçları

Ürün sayısı	Müşteri Bölgesi sayısı	Dağıtım merkezi sayısı	Üretim tesisi sayısı	Toplama merkezi sayısı	Ayrıştırma tesisi sayısı	Dönüş oranı	CPU zamanı (sn)	Amaç fonksiyonu değeri
2	3	2	2	2	2	0,1	1,64	536 075
2	3	2	2	2	2	0,2	0,03	508 318
2	3	2	2	2	2	0,3	0,05	495 142
2	3	2	2	2	2	0,4	0,05	488 101
2	3	2	2	2	2	0,5	1,42	458 415
2	3	2	2	2	2	0,6	0,06	427 782
2	3	2	2	2	2	0,7	1,16	422 103
2	3	2	2	2	2	0,8	0,06	415 936
2	3	2	2	2	2	0,9	0,03	414 506
2	3	2	2	2	2	1	0,05	389 912
2	3	3	2	2	2	0,1	0,05	516 319
2	3	3	2	2	2	0,2	0,05	498 678
2	3	3	2	2	2	0,3	0,05	489 074
2	3	3	2	2	2	0,4	0,05	485 641
2	3	3	2	2	2	0,5	0,05	468 356
2	3	3	2	2	2	0,6	0,05	462 196
2	3	3	2	2	2	0,7	0,05	447 669
2	3	3	2	2	2	0,8	0,05	434 059
2	3	3	2	2	2	0,9	0,06	430 052
2	3	3	2	2	2	1	0,03	418 007
2	5	2	2	2	2	0,1	0,09	824 669
2	5	2	2	2	2	0,2	0,05	822 858
2	5	2	2	2	2	0,3	0,05	803 819
2	5	2	2	2	2	0,4	0,03	794 378
2	5	2	2	2	2	0,5	0,05	790 290
2	5	2	2	2	2	0,6	0,05	762 196
2	5	2	2	2	2	0,7	0,05	716 898
2	5	2	2	2	2	0,8	0,05	715 392
2	5	2	2	2	2	0,9	0,05	701 352
2	5	2	2	2	2	1	0,05	680 508
2	5	3	2	2	2	0,1	0,05	797 210
2	5	3	2	2	2	0,2	0,31	783 817
2	5	3	2	2	2	0,3	0,05	764 211
2	5	3	2	2	2	0,4	0,05	760 159
2	5	3	2	2	2	0,5	0,03	753 049
2	5	3	2	2	2	0,6	0,03	752 897
2	5	3	2	2	2	0,7	0,05	714 917
2	5	3	2	2	2	0,8	0,05	704 207
2	5	3	2	2	2	0,9	0,05	667 430
2	5	3	2	2	2	1	0,03	646 021
2	10	3	2	2	2	0,1	0,05	1 540 083
2	10	3	2	2	2	0,2	0,06	1 519 803
2	10	3	2	2	2	0,3	0,06	1 481 621
2	10	3	2	2	2	0,4	0,05	1 457 429
2	10	3	2	2	2	0,5	0,05	1 447 215
2	10	3	2	2	2	0,6	0,06	1 416 237

Çizelge 5.9. (Devam) 2 ürünlü problemler için hesaplama sonuçları

2	10	3	2	2	2	0,7	0,05	1 398 738
2	10	3	2	2	2	0,8	0,06	1 356 577
2	10	3	2	2	2	0,9	0,06	1 317 976
2	10	3	2	2	2	1	0,05	1 299 454

Çizelge 5.10. 5 ürünlü problemler için hesaplama sonuçları

Ürün sayısı	Müşteri Bölgesi sayısı	Dağıtım merkezi sayısı	Üretim tesisi sayısı	Toplama merkezi sayısı	Ayrıştırma tesisi sayısı	Dönüş oranı	CPU zamanı (sn)	Amaç fonksiyonu değeri
5	10	2	2	2	2	0,1	0,08	3 828 673
5	10	2	2	2	2	0,2	0,11	3 710 544
5	10	2	2	2	2	0,3	0,08	3 615 047
5	10	2	2	2	2	0,4	0,06	3 508 646
5	10	2	2	2	2	0,5	0,06	3 136 192
5	10	2	2	2	2	0,6	0,06	3 349 121
5	10	2	2	2	2	0,7	0,06	3 187 398
5	10	2	2	2	2	0,8	0,09	3 465 924
5	10	2	2	2	2	0,9	0,06	3 222 079
5	10	2	2	2	2	1	0,06	2 887 155
5	10	3	2	2	2	0,1	0,08	3 765 836
5	10	3	2	2	2	0,2	0,19	3 707 966
5	10	3	2	2	2	0,3	0,08	3 673 716
5	10	3	2	2	2	0,4	0,09	3 580 965
5	10	3	2	2	2	0,5	0,08	3 517 458
5	10	3	2	2	2	0,6	0,11	3 504 418
5	10	3	2	2	2	0,7	0,08	3 473 148
5	10	3	2	2	2	0,8	0,08	3 317 133
5	10	3	2	2	2	0,9	0,13	3 278 599
5	10	3	2	2	2	1	0,09	3 154 491
5	10	3	3	3	3	0,1	0,09	3 683 161
5	10	3	3	3	3	0,2	0,13	3 529 848
5	10	3	3	3	3	0,3	0,13	3 449 311
5	10	3	3	3	3	0,4	0,28	3 452 500
5	10	3	3	3	3	0,5	0,11	3 398 170
5	10	3	3	3	3	0,6	0,11	3 428 711
5	10	3	3	3	3	0,7	0,06	3 377 579
5	10	3	3	3	3	0,8	0,13	3 257 780
5	10	3	3	3	3	0,9	0,09	3 080 149
5	10	3	3	3	3	1	0,09	3 188 083
5	20	3	3	3	3	0,1	0,59	7 244 012
5	20	3	3	3	3	0,2	0,17	7 008 237
5	20	3	3	3	3	0,3	0,13	7 010 309
5	20	3	3	3	3	0,4	0,16	6 846 422
5	20	3	3	3	3	0,5	0,19	6 835 373
5	20	3	3	3	3	0,6	0,22	6 655 485
5	20	3	3	3	3	0,7	0,14	6 357 942
5	20	3	3	3	3	0,8	0,09	6 125 957
5	20	3	3	3	3	0,9	0,14	6 408 469
5	20	3	3	3	3	1	0,14	6 027 180
5	20	5	3	3	3	0,1	0,20	7 330 852
5	20	5	3	3	3	0,2	0,13	7 303 742

Çizelge 5.10. (Devam) 5 ürünli problemler için hesaplama sonuçları

5	20	5	3	3	3	0,3	0,22	7 271 406
5	20	5	3	3	3	0,4	0,19	7 114 315
5	20	5	3	3	3	0,5	0,16	6 829 356
5	20	5	3	3	3	0,6	0,16	6 797 204
5	20	5	3	3	3	0,7	0,17	6 667 732
5	20	5	3	3	3	0,8	0,23	6 553 608
5	20	5	3	3	3	0,9	0,14	6 372 137
5	20	5	3	3	3	1	0,14	5 778 876
5	20	5	5	5	5	0,1	0,50	7 209 027
5	20	5	5	5	5	0,2	0,31	7 158 030
5	20	5	5	5	5	0,3	0,55	6 638 590
5	20	5	5	5	5	0,4	0,33	6 612 893
5	20	5	5	5	5	0,5	0,19	6 584 210
5	20	5	5	5	5	0,6	1,08	6 534 838
5	20	5	5	5	5	0,7	0,44	6 532 257
5	20	5	5	5	5	0,8	0,34	6 170 081
5	20	5	5	5	5	0,9	0,42	6 222 750
5	20	5	5	5	5	1	0,23	6 060 776

Çizelge 5.11. 10 ürünli problemler için hesaplama sonuçları

Ürün sayısı	Müşteri Bölgesi sayısı	Dağıtım merkezi sayısı	Üretim tesisi sayısı	Toplama merkezi sayısı	Ayrıştırma tesisi sayısı	Dönüş oranı	CPU zamanı (sn)	Amaç fonksiyonu değeri
10	20	5	5	5	5	0,1	0,39	14 025 167
10	20	5	5	5	5	0,2	0,63	14 005 283
10	20	5	5	5	5	0,3	1,91	13 925 032
10	20	5	5	5	5	0,4	3,41	13 775 323
10	20	5	5	5	5	0,5	1,16	13 750 060
10	20	5	5	5	5	0,6	0,42	13 463 082
10	20	5	5	5	5	0,7	0,69	13 160 376
10	20	5	5	5	5	0,8	0,48	12 795 269
10	20	5	5	5	5	0,9	0,27	12 913 228
10	20	5	5	5	5	1	0,53	12 287 695
10	20	10	5	5	5	0,1	11,02	14 296 531
10	20	10	5	5	5	0,2	2,33	14 066 024
10	20	10	5	5	5	0,3	5,25	13 912 222
10	20	10	5	5	5	0,4	7,20	13 733 706
10	20	10	5	5	5	0,5	4,11	13 368 174
10	20	10	5	5	5	0,6	10,67	12 838 117
10	20	10	5	5	5	0,7	0,75	12 614 299
10	20	10	5	5	5	0,8	0,58	12 362 596
10	20	10	5	5	5	0,9	0,61	11 979 192
10	20	10	5	5	5	1	0,73	11 352 527
10	20	10	10	10	10	0,1	30,66	13 946 998
10	20	10	10	10	10	0,2	33,30	14 309 573
10	20	10	10	10	10	0,3	34,42	13 889 129
10	20	10	10	10	10	0,4	58,39	13 390 264
10	20	10	10	10	10	0,5	15,66	12 907 451
10	20	10	10	10	10	0,6	11,92	12 922 996
10	20	10	10	10	10	0,7	22,94	12 661 469
10	20	10	10	10	10	0,8	30,09	12 776 728

Çizelge 5.11. (Devam) 10 ürünlü problemler için hesaplama sonuçları

10	20	10	10	10	10	0,9	30,69	12 439 279
10	20	10	10	10	10	1	37,34	12 401 147
10	50	10	10	10	10	0,1	116,56	34 946 518
10	50	10	10	10	10	0,2	106,02	34 045 174
10	50	10	10	10	10	0,3	45,08	34 187 706
10	50	10	10	10	10	0,4	63,78	33 831 432
10	50	10	10	10	10	0,5	67,22	33 081 687
10	50	10	10	10	10	0,6	50,31	33 028 302
10	50	10	10	10	10	0,7	37,42	32 446 516
10	50	10	10	10	10	0,8	20,47	32 070 681
10	50	10	10	10	10	0,9	52,14	31 827 273
10	50	10	10	10	10	1	22,22	30 843 179
10	50	15	10	10	10	0,1	650,66	35 598 235
10	50	15	10	10	10	0,2	270,20	34 706 178
10	50	15	10	10	10	0,3	594,44	34 474 631
10	50	15	10	10	10	0,4	263,13	33 764 514
10	50	15	10	10	10	0,5	331,94	32 810 465
10	50	15	10	10	10	0,6	446,86	32 540 498
10	50	15	10	10	10	0,7	252,52	32 221 124
10	50	15	10	10	10	0,8	4,92	31 911 862
10	50	15	10	10	10	0,9	532,03	31 882 089
10	50	15	10	10	10	1	447,55	31 610 885
10	50	15	15	15	15	0,1	171,38	34 801 814
10	50	15	15	15	15	0,2	255,31	35 067 923
10	50	15	15	15	15	0,3	3 725,61	34 496 006
10	50	15	15	15	15	0,4	217,53	34 328 046
10	50	15	15	15	15	0,5	1 004,77	34 088 651
10	50	15	15	15	15	0,6	88,00	34 029 717
10	50	15	15	15	15	0,7	267,45	33 102 570
10	50	15	15	15	15	0,8	1 082,55	33 073 883
10	50	15	15	15	15	0,9	812,19	33 115 084
10	50	15	15	15	15	1	184,13	32 698 392
10	100	10	10	10	10	0,1	520,75	69 409 955
10	100	10	10	10	10	0,2	172,77	69 085 765
10	100	10	10	10	10	0,3	293,61	67 101 617
10	100	10	10	10	10	0,4	167,09	66 984 488
10	100	10	10	10	10	0,5	198,98	66 889 193
10	100	10	10	10	10	0,6	201,33	66 269 147
10	100	10	10	10	10	0,7	255,23	63 317 477
10	100	10	10	10	10	0,8	409,17	63 359 400
10	100	10	10	10	10	0,9	288,61	60 982 863
10	100	10	10	10	10	1	9,30	60 839 131
10	100	15	10	10	10	0,1	51,02	70 144 325
10	100	15	10	10	10	0,2	257,66	69 695 569
10	100	15	10	10	10	0,3	139,33	68 449 617
10	100	15	10	10	10	0,4	77,09	68 360 506
10	100	15	10	10	10	0,5	103,70	66 939 440
10	100	15	10	10	10	0,6	28,38	66 433 348
10	100	15	10	10	10	0,7	107,17	65 310 134
10	100	15	10	10	10	0,8	35,36	62 494 857
10	100	15	10	10	10	0,9	55,02	61 487 807
10	100	15	10	10	10	1	41,44	61 035 650
10	100	15	15	15	15	0,1	839,30	69 801 084
10	100	15	15	15	15	0,2	1 792,98	69 142 850

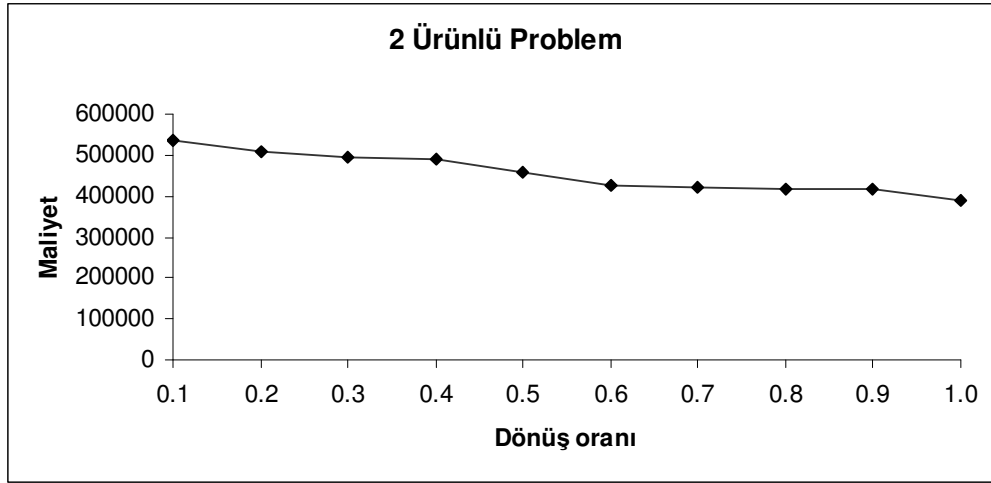
Çizelge 5.11. (Devam) 10 ürünli problemler için hesaplama sonuçları

10	100	15	15	15	15	0,3	192,52	69 197 962
10	100	15	15	15	15	0,4	927,61	68 681 617
10	100	15	15	15	15	0,5	522,69	68 166 955
10	100	15	15	15	15	0,6	1 425,14	67 026 777
10	100	15	15	15	15	0,7	1 483,63	67 012 884
10	100	15	15	15	15	0,8	268,66	66 333 950
10	100	15	15	15	15	0,9	570,30	65 859 402
10	100	15	15	15	15	1	1 229,09	64 870 166

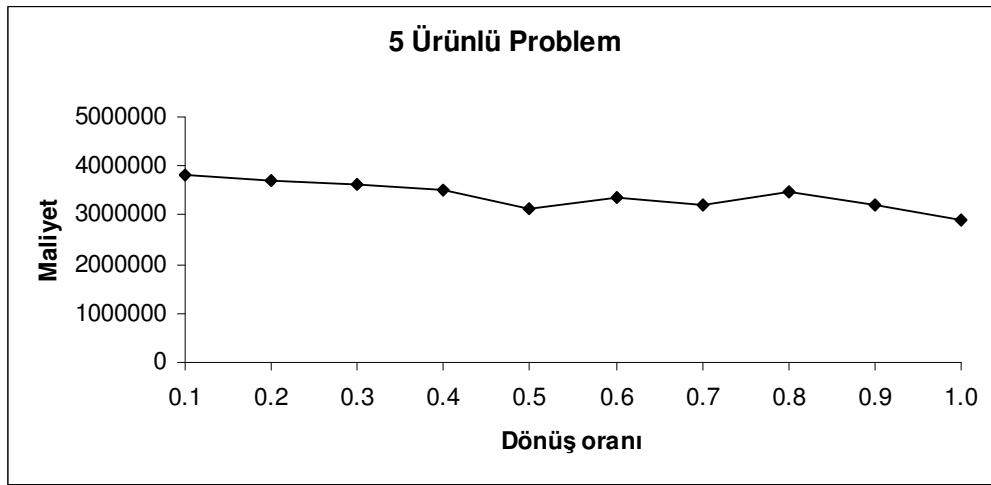
Burada test problemlerinin boyutu belirlenirken gerçek hayattaki sistemler dikkate alınmış ve tesislerden müşterilere doğru artan eğilimde problem boyutları çözülmüştür. Yani tesis sayıları dağıtım merkezlerinin sayılarına, dağıtım merkezlerinin sayıları da müşteri bölgeleri sayılarına nazaran daha az olacak şekildeki problem boyutları belirlenmiştir.

Çizelgeler incelendiğinde, optimale ulaşma zamanı ve maliyetlerin problem boyutu arttıkça arttığı görülmektedir. Müşteri sayıları 150'yi, ürün ve tesis sayıları 15'i birlikte geçtiğinde geri dönüş oranlarının da artmasıyla çözüm sürelerinin oldukça uzadığı dikkat çekmektedir.

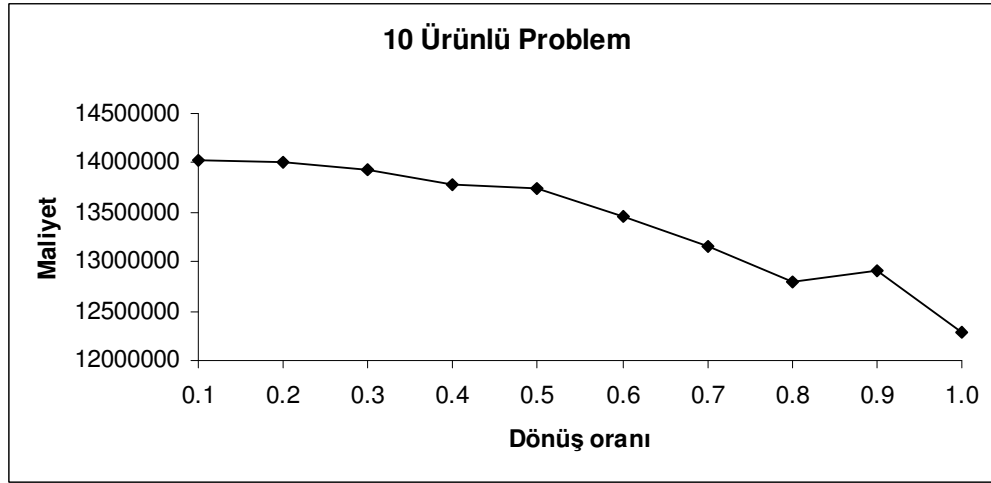
Çizelgelerden çıkarılan en önemli sonuçlardan birisi, geri dönüş oranlarının artmasıyla birlikte toplam maliyetlerin düşmesidir. Çizelge 5.9-5.11'de verilen 2, 5, 10 ve Ek 3'de verilen 15 ve 20 ürünli problemlerin ilk örnekleri için amaç fonksiyonu değeri ile geri dönüş oranları arasındaki ilişki aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



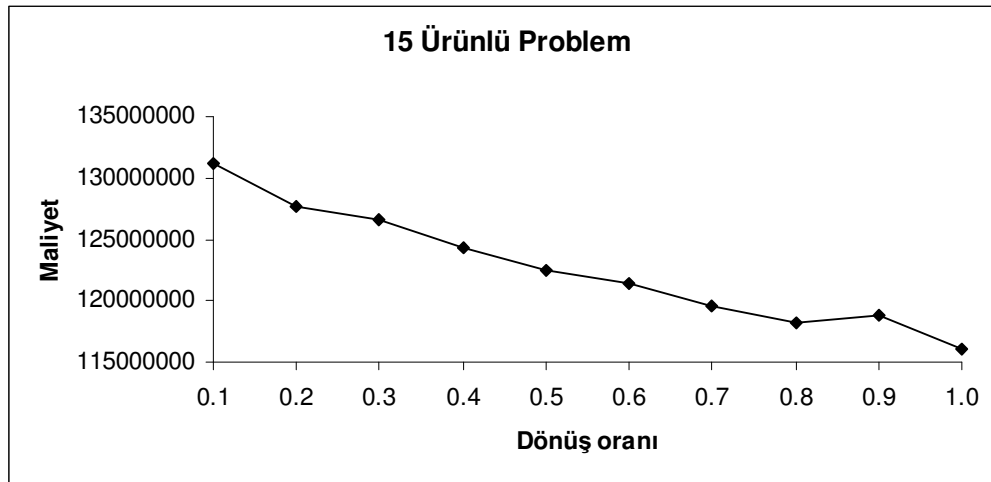
Şekil 5.3. 2 ürünlü en küçük problem boyutu için dönüş oranı-maliyet ilişkisi



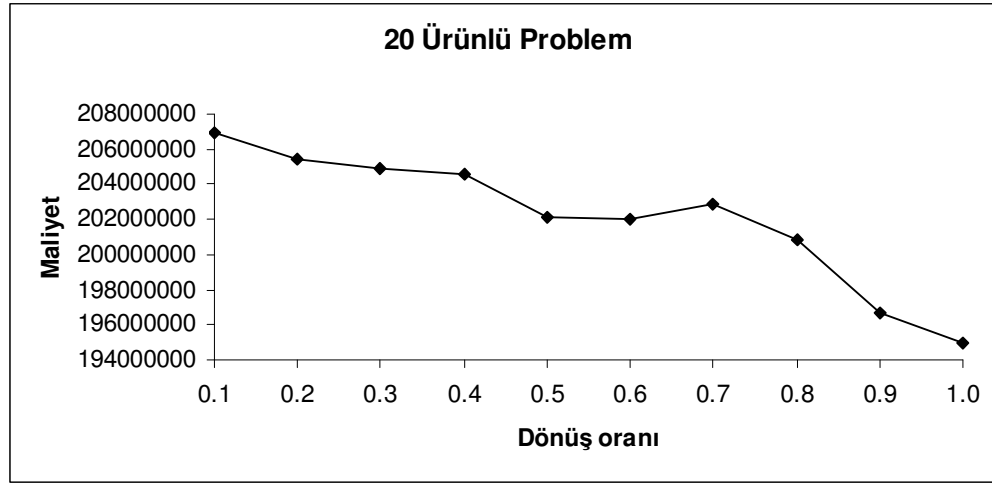
Şekil 5.4. 5 ürünlü en küçük problem boyutu için dönüş oranı-maliyet ilişkisi



Şekil 5.5. 10 ürünlü en küçük problem boyutu için dönüş oranı-maliyet ilişkisi



Şekil 5.6. 15 ürünlü en küçük problem boyutu için dönüş oranı-maliyet ilişkisi

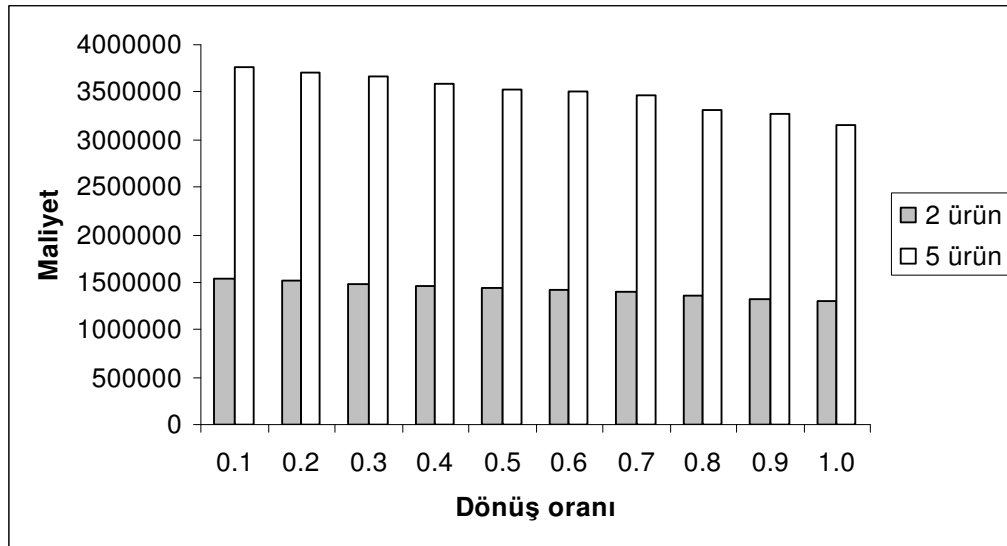


Şekil 5.7. 20 ürünlü en küçük problem boyutu için dönüş oranı-maliyet ilişkisi

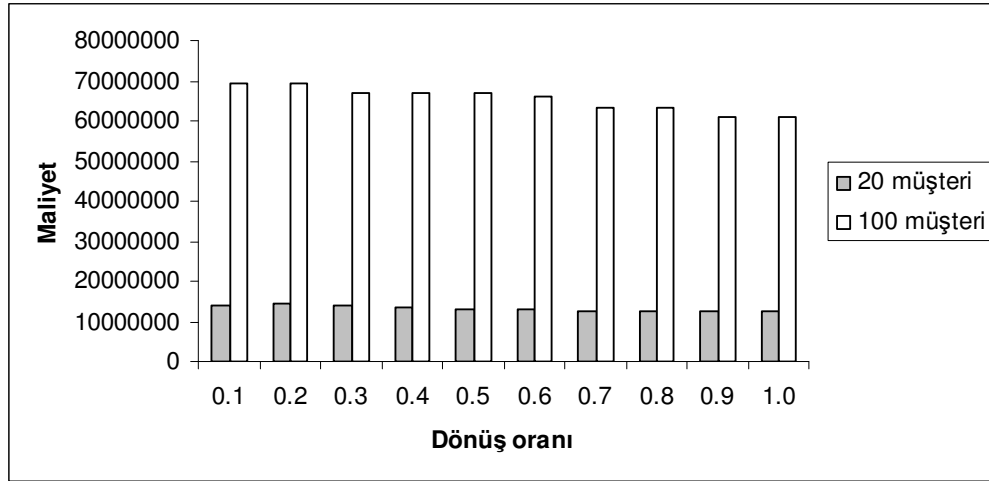
Geri dönüş oranlarının maliyetler üzerine etkisi diğer problem boyutları için de benzer sonuçlar vermektedir. Şekil 5.3-5.7 incelendiğinde dönüş oranlarının artmasıyla toplam sistem maliyetlerindeki azalmalar dikkat çekmektedir. Bu durum sistemlerine geri akışı dahil eden firmaların müşterilerden daha fazla kullanılmış ürün toplama yollarını arayarak maliyetlerini azaltabileceğini göstermektedir. Nitekim pek çok firma ve marka, sorumluluklarını yerine getirmek ya da karını artırmak için kullanıcıya artık fayda sağlamayan ürünlerin geri dönüş oranlarını artırmak amacıyla “eskiyi getir yeniyi götür”, eskiyi getirene iskonto yapma gibi politikalar uygulamaktadır. Örneğin Cole ayakkabıları eskilerini getiren müşterilerine %20 oranında iskonto yapmakta, benzer şekilde Nike firması müşterilerini eski ayakkabılarını getirmeye teşvik etmek için bunları topluma açık basketbol sahaları ve koşu yollarının yapımında kullanmaktadır.

Sistem maliyetini ve optimale ulaşma sürelerini etkileyen bir diğer önemli faktör ürün sayılarındaki artıştır. Ürün sayılarındaki artışlar toplam sistem maliyetinde belirgin yükselmelere neden olmaktadır. Örneğin 10 müşteri, 3 dağıtım merkezi, 2 imalat tesisi, 2 ayrıştırma ve toplama merkezine sahip problem boyutu 2 ürün çeşidi için çözüldüğünde amaç fonksiyonu %10 geri dönüş oranında 1 540 083 değerini alırken (Bkz. Çizelge 5.9), aynı problem aynı geri dönüş oranında bu kez 5 ürün

çeşidi için çözüldüğünde amaç fonksiyonu değeri 3 765 836 olarak bulunmuştur (Bkz. Çizelge 5.10). Şekil 5.8’de, bahsedilen problem boyutları için tüm geri dönüş oranlarında ürün sayılarındaki artışın maliyetler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Diğer taraftan, müşteri bölgeleri sayılarındaki artışlara paralel olarak da toplam sistem maliyetinin ve çözüm zamanlarının genel olarak arttığı görülmektedir. 10 ürünlü problem boyutu için üretim tesisi, dağıtım, toplama ve ayrıştırma merkezi sayıları 10 alınarak müşteri sayısı 20’den 100’e çıkarıldığında %10 geri dönüş oranında çözüm zamanı 30,66 CPU saniyeden 520,75 CPU saniyeye çıkmıştır. Aynı problem boyutu için maliyet değeri ise 13 946 988 para biriminden 69 409 955 para birimine yükselmiştir (Bkz. Çizelge 5.11). Diğer geri dönüş oranları için artan müşteri sayısının toplam sistem maliyetine etkisini incelemek üzere bahsedilen problem boyutlarına ait geri dönüş oranları ve amaç fonksiyonu değerleri şekil 5.9’da karşılaştırılmıştır.



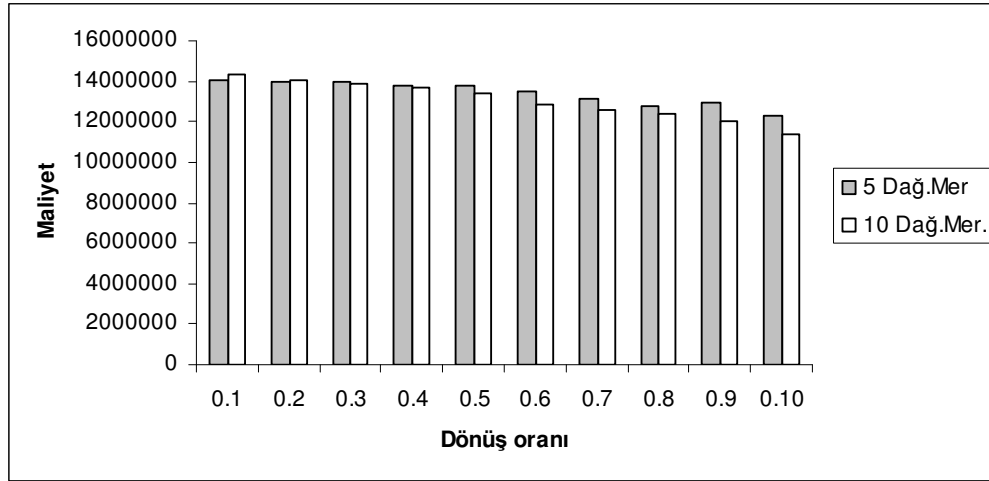
Şekil 5.8. Ürün sayılarındaki artışın sistem maliyetine etkisi



Şekil 5.9. Müşteri sayılarındaki artışın sistem maliyetine etkisi

Şekil 5.8 ve 5.9’da da görüldüğü gibi diğer değerler aynı alınarak ürün sayılarının 2’den 5’e ve müşteri bölgeleri sayısının 20’den 100’e çıkarılmasıyla maliyetlerde gözle görülür bir artış gerçekleşmiştir. Bu durum, müşteri bölgelerinin her bir ürün çeşidi için taleplerinden ve maliyet minimizasyonu şeklinde geliştirilen amaç fonksiyonunda her bir talebin, üretim, taşıma gibi maliyet kaynakları oluşturmasından dolayıdır.

Çizelgelerden çıkarılacak bir diğer önemli sonuç da aday tesislerin sayılarının artmasıyla toplam maliyetin genellikle ya azalma eğiliminde olduğu ya da fazla değişiklik göstermediğidir. Aşağıda 10 ürün, 20 müşteri bölgesi, 5 üretim tesisi, 5 ayırıştırma ve toplama merkezi içeren problem büyüklüğünün 5 ve 10 dağıtım merkezi için çözülmesiyle elde edilen amaç fonksiyonlarının her bir geri dönüş oranında aldığı değerler görülmektedir. Müşteri bölgeleri, üretim tesisleri ve ürün sayılarının sabit kabul edilerek diğer aday tesis sayılarının artırılmasıyla da şekil 5.10’dakine benzer sonuçlar elde edilmektedir.

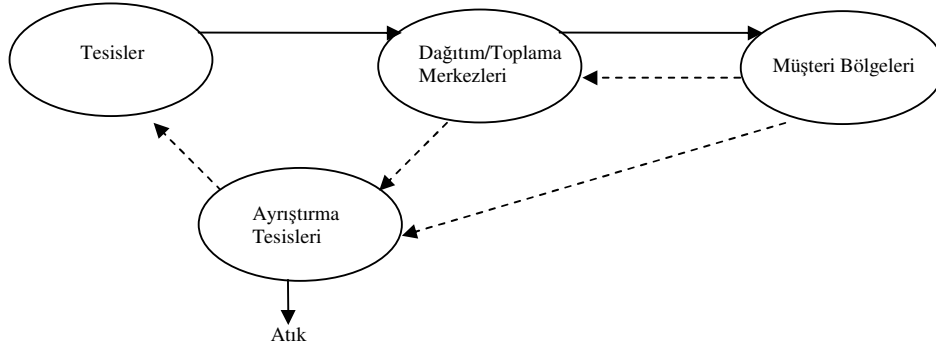


Şekil 5.10. Aday dağıtım merkezi sayılarındaki artışın sistem maliyetine etkisi

Tüm problem boyutları için aday tesis sayılarının artırılmasıyla toplam maliyet değerleri genellikle azalma eğilimi gösterirken, açılan toplam tesis sayılarında önemli farklar oluşmamıştır.

5.6. Düzenlenmiş Model

Bu çalışmada ayrıca, bütünleşik ileri geri sistem maliyetlerini minimize etmek için geliştirilmiş olan yukarıdaki model, benzer iş faaliyetleri için ortak tesis kullanımına izin verecek şekilde revize edilmiştir. Revize edilmiş model, daha düşük tesis maliyetleri, kira, arazi maliyetleri, enerji tüketimi gibi avantajları içermektedir. Modelde, dağıtım ve toplama faaliyetlerinin aynı tesislerde gerçekleşmesiyle sabit maliyetlerden tasarruf sağlanmasına imkan tanınmaktadır. Müşteri bölgelerindeki kullanıcısına artık fayda sağlamayan ve kullanıcı tarafından istenmeyen ürünler toplama merkezlerinde toplanabileceği gibi model dağıtım ve toplama işlemlerinin aynı çatı altında birleşmesine karar verirse dağıtım merkezlerine gönderilecektir. Bu durumda mevcut şebeke şekil 5.11'deki gibi olacaktır.



Şekil 5.11. Dağıtım ve toplama faaliyetlerinin tek tesiste toplanması durumunda lojistik şebekesi

Dağıtım ve toplama tesislerinin ortak kullanımının modele dahil edilebilmesi için verilen ilk modelde bir takım değişiklikler yapılmıştır. Buna göre; Amaç fonksiyonuna $+\sum_i \sum_m \sum_l t_i \cdot x_{iml} \cdot b_{lm} + \sum_i \sum_l \sum_p t_i \cdot x_{ilp} \cdot b_{lp} - \sum_l \sum_n G \cdot y_{ln}$ değeri eklenmiş, yukarıdaki modele ilaveten aşağıdaki değişkenler tanımlanmıştır.

y_{ln} : l dağıtım merkezi ve n toplama merkezinin dağıtım merkezi lokasyonunda ortak kullanılıp kullanılmaması ile ilgili 0-1 değişken,

b_{lp} : l ortak dağıtım/toplama merkezi ile p ayrıştırma tesisi arası uzaklık (km)

x_{iml} : m müşteri bölgesinden l ortak dağıtım/toplama merkezine taşınan kullanılmış i ürünü miktarı,

x_{ilp} : l ortak dağıtım/toplama merkezinden p ayrıştırma tesisine taşınan kullanılmış i ürünü miktarı

G: Ortak tesis kullanılması durumunda elde edilecek tasarruf,

M: Büyük bir sayı olarak tanımlanmıştır.

Diğer kısıtlar aynı kalırken, (5.5, 5.6, 5.9, 5.11) nolu eşitlikler aşağıdaki gibi değiştirilmiştir.

$$\sum_n x_{imn} + \sum_p x_{imp} + \sum_l x_{iml} = s_i \cdot \sum_l x_{ilm} \quad \forall i, m \quad (5.5)$$

$$\sum_k x_{pk} = \sum_i \sum_m x_{imp} \cdot b_i \cdot a_i + \sum_i \sum_n x_{inp} \cdot b_i \cdot a_i + \sum_i \sum_l x_{ilp} \cdot b_i \cdot a_i \quad \forall p \quad (5.6)$$

$$\sum_n x_{inp} + \sum_m x_{imp} + \sum_l x_{ilp} \leq CAP_{ip} \cdot y_p \quad \forall i, p \quad (5.9)$$

$$\sum_k x_{ikl} + \sum_m x_{iml} \leq CAP_{il} \cdot y_l \quad \forall i, l \quad (5.11)$$

Bunların dışında modele aşağıda verilen yeni kısıtlar ilave edilmiştir.

$$\sum_m x_{iml} = \sum_p x_{ilp} \quad \forall i, l \quad (5.17)$$

$$\sum_l \sum_n y_{ln} \leq \sum_l y_l \quad (5.18)$$

$$\sum_l \sum_n y_{ln} \leq \sum_n y_n \quad (5.19)$$

$$\sum_p x_{ilp} \leq M \cdot \sum_n y_{ln} \quad \forall i, l \quad (5.20)$$

$$\sum_m x_{iml} \leq M \cdot (1 - \sum_l y_{ln}) \quad \forall i, n \quad (5.21)$$

$$\sum_l y_{ln} \leq 1 \quad \forall n \quad (5.22)$$

$$\sum_n y_{ln} \leq 1 \quad \forall l \quad (5.23)$$

$$x_{iml}, x_{ilp} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (5.24)$$

$$y_{ln} \in \{0, 1\} \quad (5.25)$$

Eş. 5.17 ortak dağıtım/toplama tesisi için akışı dengeleyen kısıttır, Eş. 5.18 ve 5.19 kullanılacak ortak tesis sayısının açılacak olan toplama ve dağıtım tesisi sayılarını geçmesini önlemektedir, Eş. 5.20 tesislerin ortak kullanılmaması durumunda buradan ayırıştırma tesisine olan akışı engellemektedir, Eş. 5.21 toplama işleminin l lokasyonunda dağıtım ile ortak yapılması durumunda n lokasyonuna müşteri bölgelerinden gerçekleşecek taşımaları önlemektedir. Eş. 5.22 ve 5.23 dağıtım ve toplama merkezlerinin her birinin yalnız bir tesisle ortak kullanılmasını

sağlamaktadır, Eş. 5.24 ve 5.25 negatif olmama, tamsayı ve 0-1 değişkenlere ait kısıtları göstermektedir.

Dağıtım ve toplama faaliyetlerinin birbirinden bağımsız gerçekleştirildiği ve birlikte yapılmasına izin veren her iki modelin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için revize edilmiş model, ilk modelinkiyle aynı örnek problem ve aynı parametreler için çözülmüştür.

5.7. Örnek problem 2

Ele alınan tedarik zinciri yapısı aynıdır fakat ilk yapının aksine model aday toplama ve dağıtım merkezlerinin ortak kullanımına izin vermektedir (Bkz. Şekil 5.11).

Örnek Problem 2 için Ek 1’deki parametreler kullanıldığında model, tüm potansiyel tesislerin açılmasına ve dağıtım ve toplama merkezlerinin her iki tesislerinin de 1 lokasyonunda ortak kullanılmasına karar vermiştir. Optimum çözüm bu kez 0,046 saniyede ve 104 iterasyonda elde edilmiş, optimum maliyet 957 859 para birimi olarak değişmiştir. Optimum çözümde k üretim tesislerinde üretilen ürün miktarları ve üretim tesislerine satın alınan parça miktarları için ilk örnek problemin çözümündekiyle aynı değerler elde edilmiştir. Modelin çözümünden elde edilen işletmeler arası taşınan ürün miktarları çizelge 5.12 ve 5.13’da verilmiştir.

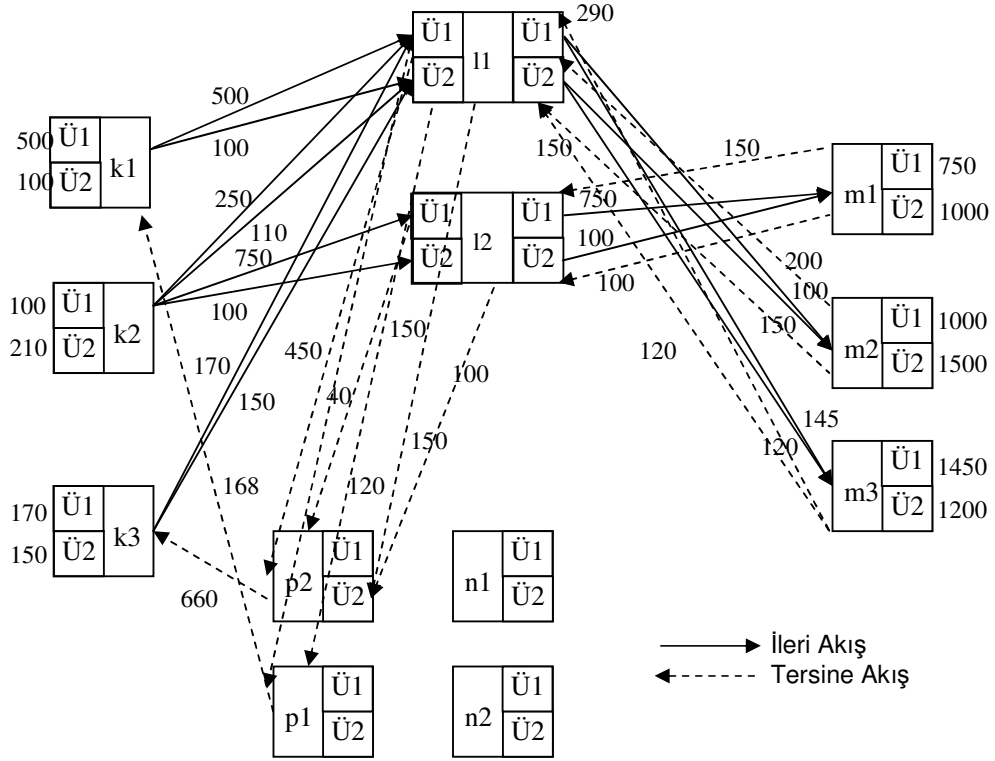
Çizelge 5.12. Ortak tesis kullanılması durumunda müşteri bölgelerinden dağıtım/toplama merkezine taşınan ürün miktarları

Müşteri bölgeleri	Dağıtım/Toplama Merkezleri			
	11		12	
	Ürün 1	Ürün 2	Ürün 1	Ürün 2
m1			150	100
m2	200	150		
m3	290	120		

Çizelge 5.13. Ortak tesis kullanılması durumunda dağıtım/toplama merkezlerinden ayrıştırma tesislerine taşınan ürün miktarları

Dağıtım/Toplama merkezleri	Ayrıştırma tesisleri			
	p1		p2	
	Ürün 1	Ürün 2	Ürün 1	Ürün 2
11	40	120	450	150
12			150	100

Modelin dağıtım ve toplama merkezlerinin ortak kullanılmasına imkan tanıdığı ikinci örnek problemin çözümünde k üretim tesislerinden l dağıtım tesislerine, l dağıtım tesislerinden m müşteri bölgelerine taşınan ürün miktarları ile p ayrıştırma tesislerinden k üretim tesislerine taşınan parça miktarları ilk örnek problemin çözümünden elde edilen değerlerle aynı çıkmıştır. Ancak model, toplama ve dağıtım merkezlerinin her ikisinin de açılmasına ve bunların ortak çatı altında toplanmasına karar verdiğinden ilk problemde gerçekleşmeyen müşteri bölgesi-dağıtım merkezi ($m-l$) ve dağıtım merkezi-ayrıştırma tesisi ($l-p$) arası taşımalar gerçekleşmiştir. Ayrıca ortak tesis kullanılması durumunda model; müşteri bölgelerinden toplama merkezlerine ($m-n$), toplama merkezlerinden ayrıştırma tesislerine ($n-p$) olan taşımaları toplama faaliyeti artık l lokasyonunda yapılacağından sıfırlayarak müşteri bölgelerinden dağıtım merkezlerine ($m-l$) ve dağıtım merkezlerinden ayrıştırma tesislerine ($l-p$) aktarmıştır. Revize edilmiş modele ait çözümde müşteri bölgelerinden ayrıştırma tesislerine ($m-p$) doğrudan taşıma gerçekleşmemiştir. İkinci problemin çözülmesiyle elde edilen optimum değerler şekil 5.12’de özetlenmiştir.



Şekil 5.12. Örnek problem 2 için optimum sonuçlar (Ü1-ürün 1, Ü2- ürün 2)

Her iki modelin de aynı veriler ve aynı problem boyutları için çözülmesiyle elde edilecek optimal değerlerin karşılaştırılabilmesi amaçlanmıştır. Dağıtım ve toplama faaliyetlerinin farklı lokasyonlardaki tesislerde gerçekleştiği yani ortak tesis kullanımının söz konusu olmadığı örnek problem 1, Ek-1'deki veriler için çözüldüğünde amaç fonksiyonu değeri 1 149 870 para birimi olarak bulunmuştur. Revize edilmiş model, aynı veriler için çözüldüğünde amaç fonksiyonu değeri bu kez 957 859 para birimi olarak değişmiştir. Böylece, ileri ve geri yönlü akışlar için kullanılan dağıtım ve toplama merkezlerinin ortak bir çatı altında toplanmasıyla toplam maliyette bu örnek problem için yaklaşık %16'7 lik bir iyileşme sağlanmıştır. Her ne kadar büyük boyutlardaki problemler için revize edilmiş modelin geçerliliği test edilmemiş ise de model yapıları oldukça benzer olduğundan test problemlerinin ilk modelinkine benzer eğilimlerde sonuçlar vereceği tahmin edilmektedir.

6. SONUÇ

Son yıllarda tüketimde meydana gelen artışlar kaynakların azalmasına, atık üretiminin artmasına ve çevrenin büyük ölçüde zarar görmesine neden olmaktadır. Bu konuya hassasiyet gösteren tüketiciler ve hükümetler atıkların azaltılması ve doğal kaynak kullanımı için üreticilere sorumluluklar yüklemektedir. Tüketicilerin ve hükümetlerin imalatçılar üzerindeki baskıları ve firmaların kar elde etme arzuları onları tedarik zincirleri boyunca ürünlerin ileri yönlü akışına ters yönde bir akışı sistemlerine dahil etmeye zorlamaktadır. Bu yüzden, artık pek çok firma için aynı zamanda tersine bir lojistik kanalının da yönetilmesi gerekmektedir.

Tersine akışın söz konusu olduğu sistemlerin planlanması ve yönetilmesi kullanılmış ürünlerin müşterilerden geri dönüş zamanının ve miktarların belirsiz olması, dönen ürünlerin farklı rota ve işlem zamanı gereksinimleri ve daha bir çok faktöre bağlı olarak geleneksel sistemlere göre çok daha zordur. Tersine lojistik şebekelerinin tasarımı, yapısının nasıl olacağı ve geleneksel ileri yönlü mevcut şebekeyle koordinasyonunun nasıl sağlanacağı, ileri yönlü şebeke ile simetrik bir yapı gösterip göstermeyeceği konuları, firmaların alması gereken önemli stratejik kararlar arasındadır.

Literatürde tersine lojistik ve yeniden imalat konularında yapılmış pek çok çalışma olmasına rağmen, ileri ve geri akışı bütünleşik olarak modelleyen ve yeniden imalat ortamı için genel bir ağ tasarımı ve matematiksel modelini işleyen yeterli sayıda çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada çok aşamalı, çok ürünlü, ileri ve geri dağıtımı içeren bütünleşik bir lojistik şebekesinde tesisler arasında doğru ürünlerin, doğru miktarlarda taşınmasını sağlamak ve hangi tesislerin hangi lokasyonlarda açılacağına karar vermek amacıyla ürünlerin yeniden imalatını ele alan genel analitik bir model kurulmuştur. Modelin çözülmesiyle birlikte üretim, taşıma, satın alma, toplama, ayrıştırma ve elden çıkarma maliyetlerinin toplamı minimize edilmeye çalışılmıştır.

Model örnek bir problem için GAMS-CPLEX programı ile çözülmüştür. Geliştirilen model için Visual Basic programlama dili kullanılarak değişik boyutlarda test problemleri üretilmiş ve modelin düşük, orta ve yüksek geri dönüş oranlarındaki davranışının belirlenebilmesi amacıyla farklı sayılarda müşteri bölgesi, tesisler ve 2, 5, 10, 15 ve 20 ürün çeşidi içeren problem boyutları 0,1-1 geri dönüş oranları için çözülmüştür.

Problem boyutlarının artmasıyla birlikte toplam maliyetler ve çözüm zamanları da artış göstermiştir. Diğer taraftan geri dönüş oranlarının 1'e yaklaşmasıyla birlikte tüm problem boyutlarında toplam maliyetlerin azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, firmaların geri dönüş oranlarını artırmaya yönelik politikalara önem vermesi gerekliliğini göstermiştir. Müşteri sayıları ve ürün çeşitliliğinin birlikte yüksek olduğu problemlerin çözümü uzun zaman almıştır. Bu çalışmada, büyük boyuttaki problemler çözülmüştür. Ancak, daha büyük problem boyutlarının çözümlerine ihtiyaç duyulduğunda zamandan tasarruf edilmesi amacıyla tabu arama, tavlama benzetimi, genetik algoritmalar gibi modern sezgisel yaklaşımlarla optimale yakın sonuçlar elde edilebilir.

Bu çalışmada ayrıca, kurulan model kira, arazi gibi sabit işletme maliyetleri ile enerji tüketimlerinden tasarruf sağlayabilmek amacıyla, benzer iş faaliyetleri için ortak tesis kullanımını mümkün kılacak şekilde geliştirilmiştir. İkinci modelde geliştirilen ilk modelden farklı olarak, ürünlerin ileri yönde dağıtımı ve geri yönde toplanması faaliyetlerini yürüten toplama ve dağıtım tesisleri ortak kullanılmıştır. Geliştirilmiş modelin aynı parametre değerleri ve aynı örnek problem için çözülmesiyle elde edilen sonuçlar ilk modelin çözümünden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

KAYNAKLAR

Aras, N., Boyacı, T. And Verter, V., “The effect of categorizing returned products in remanufacturing”, *IEE Transaction*, 36(4): 319-331 (2004).

Biswas, A., Licata, J.W., McKee, D., Pullig, C. And Daughtridge, C., “The recycling cycle: An empirical examination of customer waste recycling and recycling shopping behaviors”, *Journal of Public Policy and Marketing*, 19(1): 93-105 (2000).

Bowerman, F.R. “Managing solid waste disposal”, *California Management Review*, 14(3): 104-106 (1972).

Boyson, S., Corsi, T., Dresner, M. And Rabinovich, E., “Managing third party logistics relationship: what does it take?” *Journal of Business Logistics*, 20(1): 73-98 (1999).

Brito, M.P. And Dekker, R., “Reverse Logistics-A Framework”, *Econometric Institute Report EI 2002-38, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands*, 1-19 (2002).

Brito, M.P., Flapper, S.D.P., Dekker, R., “Reverse Logistics: A Review of Case Studies”. *Econometric Institute Report EI 2002-21, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands*, 1-32 (2002).

Carter C.R., Ellram L.M., “Reverse Logistics: A review of the literature and framework for future investigation”, *Journal of Business Logistics*, 19(1): 85-102 (1998).

Chopra, S., Meindl, P., “Supply Chain Management Strategy, Planning, and Operation 2nd ed.”, *Prentice Hall*, 4-7 (2003).

Cooke, J.A., “Turning trash into cash”, *Traffic Management*, 32(10): 46-48 (1993).

Dowlatshahi, S., “Developing a theory of reverse logistics”, *Interfaces*, 30(3): 143-155 (2000).

Dowlatshahi, S., “A strategic framework for the design and implementation of remanufacturing operations in reverse logistics”, *International Journal of Production Research*, 43(16): 3455–3480 (2005).

Duhaime, R., Riopel, D. And Langevin, A., “Value analysis and optimization of reusable containers at Canada post”, *Interfaces*, 31(3): 3-15 (2001).

Evans, K., “The remaining need for localization of logistics practices and services in Europe”, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 30(5): 443-453 (2000).

Ferrer, G. And Ketzenberg, M., “Value of information in remanufacturing complex products”, *IIE Transactions*, 36: 265-277 (2004).

Ferrer, G. And Whybark, D.C., “Material planning for a remanufacturing facility”, *Production and Operations Management*, 10(2): 112-124 (2001).

Fleischmann, M., “Quantitive models for reverse logistics”, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 501, *Springer*, Berlin, 3-7, 19-24, 64-69 (2001).

Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M. And van Wassenhove, L., “The impact of product recovery on logistics network design”, *Production and Operations Management*, 10(2): 156-173 (2001).

Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker, R., van der Laan, E., van Nunen, J.A.E.E. And van Wassenhove, L.N., “Quantitative models for reverse logistics: a review (Invited Review)”, *European Journal of Operational Research*, 103(1): 1-17 (1997).

Fleischmann, M., Krikke, H.R., Dekker, R., Flapper, S.D.P., “A characterization of logistics network for product recovery”, *Omega: The International Journal of Management Science*, 28(6): 653-666 (2000).

Fleischmann, M., Kuik, R., Dekker, R., “Controlling inventories with stochastic item returns: A basic model”, *European Journal of Operational Research*, 138(1): 63-75 (2002).

French, M.L., “Closed loop supply chains in process industries: an exploratory study of reuse practices”, Doktora tezi, *Clemson University*, Clemson, 12-54 (2002).

Gaudette, K.J., “Inventory planning for remanufacturing”, Doktora tezi, *Kelley School of Business, Indiana University*, Indiana, 13-17 (2003).

Georgiadis, P., Vlachos, D., “The effect of environmental parameters on product recovery”, *European Journal of Operational Research*, 157, 449-464 (2004).

Germans, R.J., “Reuse and IBM”, *Proceedings of the First International Working Seminar on Reuse*, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands, 119 (1996).

Geyer, R. And Jackson, T. “Supply loops and their constraints: The industrial ecology of recycling and reuse”, *California Management Review*, 46(2): 55-73 (2004).

Giuntini, R. And Andel, T., “Reverse logistics role models”, *Transportation & Distribution*, 36(4): 97-98 (1995).

Golany, B., Yang, J., And Yu, G., “Economic lot sizing with remanufacturing options”, *IIE Transactions*, 33(11): 995-1003 (2001).

Goldsby, T.J. And Closs, D.J., “Using activity based costing to reengineer the reverse logistics channel”, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 30(6): 500-514 (2000).

Guide V.D.R., “Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs”, *Journal of Operations Management*, 18(4): 467-483 (2000).

Guide V.D.R. And Jayaraman V., “Product acquisition management: current industry practice and a proposed network”, *International Journal of Production Research*, 38(16): 3779-3800 (2000).

Guide, V.D.R., Jayaraman, V., Srivastava, R. And Benton, W.C., “Supply chain management for recoverable manufacturing systems”, *Interfaces*, 30(3): 125-142 (2000).

Guide V.D.R., Kraus, M.E. And Srivastava, R., “Scheduling policies for remanufacturing”, *International Journal of Production Economics*, 48(2): 187-204 (1997).

Guide, V.D.R. And Srivastava, R., “An evaluation of order release strategies in a remanufacturing environment”, *Computers & Operations Research*, 24(1): 37-47 (1997a).

Guide V.D.R. And Srivastava, R., “Repairable inventory theory: Models and applications”, *European Journal of Operational Research*, 102(1): 1-19 (1997b).

Guide, V.D.R. And Srivastava, R., “Inventory buffers in recoverable manufacturing”, *Journal of Operations Management*, 16(5): 551-568 (1998).

Guide V.D.R., Srivastava, R. And Kraus, M.E., “Proactive expediting policies for recoverable manufacturing”, *Journal of the Operational Research Society*, 49(5): 479-491 (1998).

Guide, V.D.R., Srivastava, R. And Kraus, M.E., “Priority scheduling policies for repair shops”, *International Journal of Production Research*, 38(4): 929-950 (2000).

Guide V.D.R., Srivastava, R. And Spencer, M.S., “Are production systems ready for the green revolution?”, *Production and Inventory Management Journal*, 37(4): 70-76 (1996).

Guide V.D.R., Teunter, R.H. And van Wassenhove, L.N., "Matching demand and supply to maximize profits from remanufacturing", *Manufacturing and Service Operations Management*, 5(4): 303-316 (2003).

Guide, V.D.R. And van Wassenhove, L.N., "Managing product returns for remanufacturing", *Production and Operations Management*, 10(2): 142-155 (2001).

Gungor, A., And Gupta, S.M., "Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: A survey", *Computers and Industrial Engineering*, 36(4): 811-853 (1999).

Highfill, J. And McAsey, M., "An application of optimal control to the economics of recycling", *SIAM Review*, 43(4): 679-693 (2001).

Hillegersberg, J., Zuidwijk, R., Nunen, J., Eijk, D., "Supporting Return Flows in the Supply Chain", *Communications of the ACM*, 44(6): 74-79 (2001).

Hines, P. And Rich, N., "Outsourcing competitive advantage: the use of supplier associations", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 28(7): 524-546 (1998).

Hoshino, T., Yura K. And Hitomi, K., "Optimization analysis for recycle-oriented manufacturing", *International Journal of Production Research*, 33(8): 2069-2078 (1995).

Ibenholt, K. And Lindhjem, H., "Costs and benefits of recycling liquid board containers", *Journal of Consumer Policy*, 26(3): 301-325 (2003).

Inderfurth, K., "Impact of uncertainties on recovery behavior in remanufacturing environment: A numerical analysis", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 35(5): 318-336 (2005).

Inderfurth, K. And van der Laan, E., "Leadtime effects and policy improvement for stochastic inventory control with remanufacturing", *International Journal of Production Economics*, 71: 381-390 (2001).

Internet: Boston University, "Overview Slideshow" <http://www.bu.edu/reman>, Lund, R.T. And Hauser, W., Remanufacturing an American resource (2003).

Internet: Rochester Institute of Technology, "The National Center for Remanufacturing and Resource" <http://www.reman.rit.edu> (2000).

Internet: Institut D'estudis Territorials "Publications-Document de treball" www.ietcat.org, Lourenço, H.R., Soto, J.P., Reverse logistics models and applications: A recoverable production planning model (2002).

Jahre, M., "Household waste collection as a reverse channel: A theoretical perspective", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 25(2): 39-55 (1995).

Jayaraman, V., Guide, V.D.R. And Srivastava, R., "A closed-loop logistics model for remanufacturing", *Journal of the Operational Research Society*, 50(5): 497-508 (1999).

Kara, S., Rugrungruang, F., Kaebernick, H., "Simulation modelling of reverse logistics network", *International Journal of Production Economics*, 106: 61-69 (2007).

Kelle, P. And Silver E.A., "Purchasing policy of new containers considering the random returns of previously issued containers", *IIE Transactions*, 21(4): 349-354 (1989).

Kent Jr., J.L. And Flint, D.J., "Perspectives on the evolution of logistics thought", *Journal of Business Logistics*, 18(2): 15-29 (1997).

Kiesmuller, G., "Optimal control of a one product recovery system with lead-times", *International Journal of Production Economics*, 81-82: 333-340 (2003).

Kiesmuller, G. And van der Laan E., "An inventory model with dependent product demands and returns", *International Journal of Production Economics*, 72(1): 73-87 (2001).

Kim, K., Song, I., Kim, J. And Jeong, B., "Supply planning model for remanufacturing system in reverse logistics environment", *Computers and Industrial Engineering*, 51(2): 279-287 (2006).

Klausner M., Hendrickson C.T., "Reverse logistics strategy for product take-back", *Interfaces*, 30(3): 156-65 (2000).

Knemeyer, A.M., Ponzurick, T.G. And Logar, C.M., "A qualitative examination of factors affecting reverse logistics system for end of life computers", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 32(6): 455-479 (2002).

Kobu, B., "Üretim Yönetimi 10. baskı", *İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsü Araştırma ve Yardım Vakfı*, 200-205 (1998).

Krikke, H., "Recovery strategies and reverse logistic network design", Doktora tezi, *University of Twente, Enschede*, The Netherlands, 1-268 (1998).

Krikke, H.R., van Harten, A. And Schuur, P.C., "On a medium term product recovery and disposal strategy for durable assembly products", *International Journal of Production Research*, 36(1): 111-139 (1998a).

Krikke, H.R., van Harten, A. And Schuur, P.C., "Mixed policies for recovery and disposal of multiple-type consumer products", *Journal of Environmental Engineering*, 124(4): 368-379 (1998b).

Krikke, H.R., van Harten, A. And Schuur, P.C., "Business case Oce: Reverse logistic network re-design for copiers", *OR Spektrum*, 21(3): 381-409 (1999a).

Krikke, H.R., van Harten, A., Schuur, P.C., "Business case Roteb: Recovery strategies for monitors", *Computers and Industrial Engineering*, 36(4): 739-757 (1999b).

Lee, J., "Critical issues in establishing a viable reverse logistic management program", *IEEE Conference*, 150-156 (2002).

Li, Y., Chen, J., Cai, X., "Uncapacitated production planning with multiple product types, returned product remanufacturing, and demand substitution", *OR Spectrum*, 28: 101-125 (2006).

Lieb, R. And Bentz, B.A., "The use of third party logistics services by large American manufacturers: The 2003 survey", *Transportation Journal*, 43(3): 5-15 (2004).

Lieb, R.C., Kendrick, S., "The year 2002 survey: CEO perspectives on the current status and future prospects of the third-party logistics industry in the United States", *Transportation Journal*, 42(3): 5-16 (2003).

Lieb, R.C., Millen, R.A. And van Wassenhove, L.N., "Third party logistics: a comparison of experienced American and European manufacturers", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 23(6): 35-44 (1993).

Lieb, R. And Miller, J., "The use of third party logistics services by large U.S. manufacturers: The 2002 survey", *International Journal of Logistics*, 5(1): 1-12 (2002).

Lieb, R.C. And Randall, H.L., "A comparison of the use of third party logistics services by large American manufacturers, 1991, 1994, and 1995", *Journal of Business Logistics*, 17(1): 305-320 (1996).

Linton, J.D., Yeomans, J.S. And Yoogalingam, R., "Supply planning for industrial ecology and remanufacturing under uncertainty: a numerical study of leaded waste recovery from television disposal", *Journal of Operational Research Society*, 53(11): 1185-1196 (2002).

Listeş, O., "A generic stochastic model for supply and return network design", *Computers and Operations Research*, 34: 417-442 (2007).

- Lu, Z., Bostel, N., “a facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities”, ***Computers and Operations Research***, 34: 299-323 (2007).
- Lu, Q. And Stuart, J., “An investigation of bulk recycling and planning for an electronic recycling facility receiving industrial returns versus residential returns”, ***IEEE Transaction on Electronic Packaging Manufacturing***, 26(4): 320-327 (2003).
- Lund, R.T. “The remanufacturing industry: Hidden giant”, ***Final report of Argonne National Laboratory study, Boston University, Boston***, 11-41 (1996).
- Mabee, D.G., Bommer, M., And Keat, W.D., “Design charts for remanufacturing assessment”, ***Journal of Manufacturing Systems***, 18(5): 358-366 (1999).
- Maltz, A.B. And Ellram, L.M., “Selling inbound logistics services: understanding the buyer’s perspective”, ***Journal of Business Logistics***, 21(2): 69-88 (2000).
- Matthews, H.S., “Shifting into reverse logistics”, ***Distribution***, 15(2): 18-19 (2002).
- Matthews, H.S., “Thinking outside the box: Designing a packaging take back system”, ***California Management Review***, 46(2): 105-119 (2004).
- Meade, S. And Sarkis, J., “A conceptual model for selecting and evaluating third party logistics providers”, ***Supply Chain Management: an International Journal***, 7(5): 283-295 (2002).
- Melnyk, S.A., Sroufe, R.P., Montabon, F.L., Calantone, F., Tummala, R.L. And Hinds, T.J., “Integrating Environmental Issues into Material Planning “Green” MRP”, ***Production and Inventory Management Journal***, 40(3): 36-45 (1999).
- Melnyk, S.A., Sroufe, R.P., Montabon, F.L. And Hinds, T.J., “Green MRP: Identifying the material and environmental impacts of production schedules”, ***International Journal of Production Research***, 39(8): 1559-1573 (2001).
- Minner, S., “Strategic safety stocks in reverse logistics supply chains”, ***International Journal of Production Economics***, 71(1): 417-428, (2001).
- Motavalli, J., The producer pays, May-June, ***E: The Environmental Magazine***, 8(3): 36-42 (1997).
- Muckstadt, J.A. And Isaac, M.H., “An analysis of single item inventory systems with returns”, ***Naval Research Logistics Quarterly, Cornell University Ithaca, New York***, 237-254 (1981).

Nagel, C. And Meyer, P., "Caught between ecology and economy: end-of-life aspects of environmentally conscious manufacturing", *Computers & Industrial Engineering*, 36(4): 781-792 (1999).

Panisset, B.D., "MRPII for repair/refurbish industries", *Production and Inventory Management Journal*, 29(4): 12-15 (1988).

Patel, G.S., "A stochastic production cost model for remanufacturing systems", Yüksek lisans tezi, *University of Texas-Pan American*, Texas, 1-16 (2006).

Penev, K.D., ve de Ron, A.J., "Determination of a disassembly strategy", *International Journal of Production Research*, 34(2): 495-506 (1996).

Pilar, L.G.T., Belarmino, A.D., "Reverse logistics practices in the glass sector in Spain and Belgium", *International Business Review*, 15: 527-546 (2006).

Pogorelec, J., "Reverse logistics is doable, important", *Frontline Solutions*, 1(10): 68-69 (2000).

Pohlen T.L. And Farris T. II "Reverse logistics in plastic recycling" *International journal of physical distribution and logistics management*, 22(7): 35-47 (1992).

Pourmohammadi, H., "Green logistics for regional industrial waste materials and by-products", Doktora tezi, *University of Southern*, California, 9-11 (2005).

Prahinski, C., Kocabasoglu, C., "Empirical research opportunities in reverse supply chains", *Omega*, 34, 519-532 (2006).

Prendergast, P. And Pitt, L., "Packaging, marketing, logistics, and the environment: Are there trade-offs?", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 26(6): 60-72 (1996).

Richey, R., Chen, H., Genchev, S.E. And Daugherty, P.J., "Developing effective reverse logistics programs", *Industrial Marketing Management*, 34: 830-840 (2005).

Richter, K., "The extended EOQ repair and waste disposal model", *International Journal of Production Economics*, 45(1): 443-447 (1996).

Richter, K. And Dobos, I., "Analysis of the EOQ repair and waste disposal problem with Integer setup numbers", *International Journal of Production Economics*, 59(1): 463-467 (1999).

Richter, K. And Weber, J., "The reverse Wagner/Within model variable manufacturing and remanufacturing cost", *International Journal of Production Economics*, 71: 447-456 (2001).

Rogers, D.S. And Tibben-Lembke, R., “Going backwards: Reverse logistics trends and practices”, *Reverse Logistics Executive Council*, Pittsburgh, PA, 1-32, 159-185 (1999).

Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R., “An examination of reverse logistics practices”, *Journal of Business Logistics*, 22(2): 129-147 (2001).

Rosenau, W.V., Twede, D., Mazzeo, M.A. And Singh, S.P., “Returnable / reusable logistical packaging: A capital budgeting investment decision framework”, *Journal of Business Logistics*, 17(2): 139-165 (1996).

Salema, M.I., Povia, A.P.B., Novais, A.Q., “A warehouse based design model for reverse logistics”, *Journal of the Operational Research Society*, 57: 615-629 (2006).

Savaskan, R.C., Bhattacharya, S. And van Wassenhove, L.N., “Closed-loop supply chain models with product remanufacturing”, *Management Science*, 50(2): 239-252 (2004).

Schultmann, F., Zumkeller, M., Rentz, O., “Modeling reverse logistic tasks within closed loop supply chains: An example from the automotive industry”, *European Journal of Operational Research*, 171: 1033-1050 (2006).

Seitz, M.A. And Peattie, K., “Meeting the closed-loop challenge: The case of remanufacturing”, *California Management Review*, 46(2): 74-89 (2004).

Setaputra, R., “Role of return policy in reverse logistics: Issues and optimum policies”, Doktora tezi, *The University of Wisconsin*, Milwaukee, 7-27 (2005).

Shah, P., “Optimizing usage of recycled material in a remanufacturing environment”, Yüksek lisans tezi, *University of Buffalo*, New York, 2-5 (2005).

Sheu, J.B., “A coordinated reverse logistics system for regional management of multi-source hazardous wastes”, *Computers and Operations Research*, 34: 1442-1462 (2007).

Skjoett-Larsen, T., “Third party logistics: from an interorganizational point of view”, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 30(2): 112-127 (2000).

Souza, G.C., Ketzenberg, M.E., Guide V.D.R., “Capacitated remanufacturing with service level constraints”, *Production and Operations Management*, 11(2): 231-248 (2002).

Stock J.R. “Reverse logistics”, *Council of Logistics Management*, Oak Brook, IL, 1-214 (1992).

Tang, O., Grubbström, R.W., Zaroni, S., “Economic evaluation of disassembly systems in remanufacturing systems”, *International Journal of Production Research*, 42(17): 3603-3617 (2004).

Teigen, R., “Information flow in a supply chain management system”, Doktora Tezi, *Dept. of Industrial Economics and Technology Management*, Trondheim University, Sweden, 35 (1997).

Teunter, R. And van der Laan, E.A., “On the non-optimality of the average cost approach for inventory models with remanufacturing”, *International Journal of Production Economics*, 79(1): 67-73 (2002).

Teunter, R., van der Laan, E.A. And Inderfurth, K. “How to set the holding cost rates in average cost inventory models with reverse logistics?”, *Omega*, 28(4): 409-415, (2000).

Teunter, R., van der Laan, E., Vlachos, D., “Inventory strategies for system with fast remanufacturing”, *ERIM Report Series Research in Management 77, Rotterdam, The Netherlands*, 1-26 (2002).

Teunter, R. And Vlachos, D. “On the necessity of a disposal option for returned items that can be remanufactured”, *International Journal of Production Economics*, 75(3): 257-266 (2002).

Thierry, M., Salomon, M., van Wassenhove L., “Strategic issues in product recovery management”, *California Management Review*, 37(2): 114-35 (1995).

Tibben-Lembke, R., Rogers, D.S., “Differences between forward and reverse logistics in a retail environment”, *Supply Chain Management: An International Journal*, 7(5): 271-282 (2002).

Toktay, L.B., Wein, L.M. And Zenios, S.A., “Inventory Management of Remanufacturable Products”, *Management Science*, 46(11): 1412-1426 (2000).

Tucker, P., Murney, G. And Lamont, J., “A decision support model for the management of recycling schemes”, *Journal of Environmental Planning and Management*, 41(4): 445-462 (1998).

Tucker, P., Speirs, D. And Smith, D., “The impact of a change in collection frequency on kerbside recycling behaviors”, *Journal of Environmental Planning and Management*, 43(3): 335-350 (2000).

Van der Laan, E.A., “The effects of remanufacturing on inventory control”, Doktora tezi, *Rotterdam School of Management, Erasmus University Rotterdam*, The Netherlands, 1-157 (1997).

Van der Laan, E.A., Dekker, R. And Salomon, M., “Product remanufacturing and disposal: A numerical comparison of alternative control strategies”, *International Journal of Production Economics*, 45(1-3): 489-498 (1996).

Van der Laan, E.A., Dekker, R., Salomon, M. And Ridder A., “An (s,q) inventory model with remanufacturing and disposal”, *International Journal of Production Economics*, 46-47(1): 339-350 (1996).

Van der Laan, E.A., Salomon, M., Dekker, R. And van Wassenhove, L.N., “Inventory control in hybrid systems with remanufacturing”, *Management Science*, 45(5): 733-747 (1999).

Van der Laan, E.A. And Teunter, R.H., “Simple heuristics for push and pull remanufacturing policies”, *ERIM Report Series Research in Management 90, Rotterdam, The Netherlands*, 1-20 (2004).

Van Laarhoven, P., Bergkund, M., And Peters, M., “Third party logistics in Europe: Five years later”, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 30(5): 425-442 (2000).

Viswanathan, S. And Allada, V., “Configuration analysis to support product redesign for end of life disassembly”, *International Journal of Production Research*, 39(8): 1733-1753 (2001).

Witt, C.W., “Reverse logistics at BMG (supply chain flow supplement)”, *Transportation and Distribution*, 53(8), 10-12 (1998).

Zikmund, W.G. And Stanton, W.J., “Recycling solid wastes: A channels of distribution problems”, *Journal of Marketing*, 35(1): 34-39 (1971).

EKLER

EK-1 Problem verileri

Çizelge 1.1. Ürün bilgileri

Ürünler	Km başına taşıma maliyeti (birim)	Toplama maliyeti (birim)	Elden çıkarma maliyeti (birim)	Bir üründen elde edilen parça sayısı	Dönüş oranı	Kabul oranı
Ürün 1	0,02	0,5	2	3	0,20	0,20
Ürün 2	0,01	1	1	3	0,10	0,40

Çizelge 1.2. Müşteri bölgelerinin ürün bazında talepleri

Müşteri bölgeleri	Ürünler	
	Ürün1	Ürün2
m1	750	1 000
m2	1 000	1 500
m3	1 450	1 200

Çizelge 1.3. Üretim tesislerinin birim üretim maliyetleri

Üretim tesisleri	Ürünler	
	Ürün1	Ürün2
k1	180	120
k2	140	110
k3	150	100

Çizelge 1.4. Üretim tesislerinin ürün kapasiteleri

Üretim tesisleri	Ürünler	
	Ürün1	Ürün2
k1	2 750	1 800
k2	1 000	2 100
k3	1 700	1 500

Çizelge 1.5. Üretim tesislerinin parça kapasiteleri

Üretim tesisi	Kapasite
k1	25 000
k2	22 500
k3	20 000

EK-1 (Devam) Problem verileri

Çizelge 1.6. Ayırıştırma tesislerinin birim ayırıştırma maliyetleri

Ayırıştırma tesisleri	Ürünler	
	Ürün1	Ürün2
p1	8	2
p2	5	3

Çizelge 1.7. Ayırıştırma tesislerinin kapasiteleri

Ayırıştırma tesisleri	Ürünler	
	Ürün1	Ürün2
p1	550	500
p2	600	250

Çizelge 1.8. Toplama merkezlerinin kapasiteleri

Toplama merkezleri	Ürünler	
	Ürün1	Ürün2
n1	600	290
n2	1 000	750

Çizelge 1.9. Dağıtım merkezlerinin kapasiteleri

Dağıtım Merkezleri	Ürünler	
	Ürün1	Ürün2
l1	3 200	5 000
l2	4 500	5 700

EK-2 Örnek problem 1'e ait GAMS modeli

sets

i urunler /urun1,urun2/

k üretim tesisleri /k1,k2,k3/

l potansiyel dağıtım merkezleri /l1,l2/

n potansiyel toplama merkezleri /n1,n2/

m müşteri bölgeleri /m1,m2,m3/

p potansiyel demontaj tesisleri /p1,p2/ ;

parameters

fp(p) p tesisini açık tutma maliyeti

/p1 20000

p2 25000/

fl(l) l tesisini açık tutma maliyeti

/l1 10000

l2 7500/

fn(n) n tesisini açık tutma maliyeti

/n1 6000

n2 8000/

t(i) i ürününü km başına birim taşıma maliyeti (YTL)

/urun1 0.02

urun2 0.01/

a(i) i ürününden elde edilen alt montaj parçası sayısı

/urun1 3

urun2 3/

EK-2 (Devam) Örnek problem 1'e ait GAMS modeli

DC(i) i urununu elden cikarma maliyeti

/urun1 2

urun2 1/

CC(i) i urununu toplama maliyeti

/urun1 0.5

urun2 1/

CAPk(k) k tesisinin parca tutma kapasitesi

/k1 25000

k2 22500

k3 20000/

s(i) i urunu icin geri donus orani

/urun1 0.20

urun2 0.10/

b(i) toplanan i urununun yeniden imalata giren kısmi

/urun1 0.20

urun2 0.40/;

table D(i,m) m musteri bolgesinin i urunu talebi

	m1	m2	m3
urun1	750	1000	1450
urun2	1000	1500	1200 ;

table c(i,k) i urununu k tesisinde birim uretim maliyeti

	k1	k2	k3
urun1	180	140	150
urun2	120	110	100 ;

EK-2 (Devam) Örnek problem 1'e ait GAMS modeli

table dip(i,p) i urununu p tesisinde birim ayrıştırma maliyeti

	p1	p2
urun1	8	5
urun2	2	3 ;

table CAPik(i,k) k tesisinin i urunu üretim kapasitesi

	k1	k2	k3
urun1	2750	1000	1700
urun2	1800	2100	1500 ;

table CAPip(i,p) p tesisinin i urunu ayrıştırma kapasitesi

	p1	p2
urun1	550	600
urun2	500	250 ;

table CAPin(i,n) n tesisinin i urunu toplama kapasitesi

	n1	n2
urun1	600	1000
urun2	290	750 ;

table CAPil(i,l) l tesisinin i urunu dağıtım kapasitesi

	l1	l2
urun1	3000	4500
urun2	4000	5700 ;

table bkl(k,l) k ile l arası uzaklıklar (km)

	l1	l2
k1	280	550
k2	320	250
k3	200	370 ;

EK-2 (Devam) Örnek problem 1'e ait GAMS modeli

table blm(l,m) l ile m arasi uzakliklar (km)

	m1	m2	m3
l1	250	420	340
l2	310	590	470 ;

table bnp(n,p) n ile p arasi uzakliklar (km)

	p1	p2
n1	320	290
n2	230	275 ;

table bpk(p,k) p ile k arasi uzakliklar (km)

	k1	k2	k3
p1	480	720	650
p2	530	500	425 ;

table bmp(m,p) m ile p arasi uzakliklar (km)

	p1	p2
m1	1700	1200
m2	1200	1600
m3	2000	1500 ;

table bmn(m,n) m ile n arasi uzakliklar (km)

	n1	n2
m1	400	680
m2	250	450
m3	220	620 ;

positive variables

xikl(i,k,l) k dan l ye tasinan i urunu miktarı

xilm(i,l,m) l den m ye tasinan i urunu miktarı

EK-2 (Devam) Örnek problem 1'e ait GAMS modeli

$x_{imn}(i,m,n)$ m den n ye tasinan i urunu miktarı

$x_{inp}(i,n,p)$ n den p ye tasinan i urunu miktarı

$x_{imp}(i,m,p)$ m den p ye tasinan i urunu miktarı

$x_{pk}(p,k)$ p den k ya tasinan parca miktarı

$Q(k)$ k tesisine alinan parca miktarı

$q_{ik}(i,k)$ k tesisinde uretilen i urunu miktarı

$TD(i)$ toplam i urunu talebi ;

free variables

z toplam maliyet ;

binary variables

$y_p(p)$ p tesisinin acilip acilmamasi ile ilgili degisken

$y_l(l)$ l tesisinin acilip acilmamasi ile ilgili degisken

$y_n(n)$ n tesisinin acilip acilmamasi ile ilgili degisken ;

scalars

TC km basina birim parca tasima maliyeti (YTL) /0.3/

PC birim parca satin alma maliyeti /1/;

equations

topmaliyet amac fonksiyonu degeri

$kk_{pasite}(i,k)$ k tesisinin i urunu icin kapasite kisiti

$talep(i,m)$ toplam talebin karsilanmasi icin kisit

$donenmiktar(i,m)$ i urununden donen miktarı belirleyen kisit

$gonderilen(p)$ p tesisinden gonderilen parca miktarini dengeleyen kisit

$dagmerkezi(i,l)$ dagitim merkezi icin gelen gonderilene esit olsun kisiti

$topmerkezi(i,n)$ toplama merkezi icin toplanan gonderilene esit olsun kisiti

$pk_{pasite}(i,p)$ p tesisine gelen miktar icin kapasite kisiti

$kk_{pasite2}(k)$ k tesisinin parca tutma kapasitesini sinirlayan kisit

EK-2 (Devam) Örnek problem 1'e ait GAMS modeli

lkapasite(i,l) l tesisi için kapasite kisiti

nkapasite(i,n) n tesisi için kapasite kisiti

hammadde(k) üretim için gerekli hammadde miktarını sağlayan kısıt

uretilen(i,k) üretilen ürünlerin dağıtım merkezlerine gönderilmesini sağlayan kısıt

talepdenge(i) toplam talep talepler toplamına eşit olmalı;

topmaliyet .. z =e= sum(p, fp(p)*yp(p))+
 sum(l, fl(l)*yl(l))+
 sum(n, fn(n)*yn(n))+
 sum((i,k), c(i,k)*qik(i,k))+
 sum((i,k,l), t(i)*xikl(i,k,l)*bkl(k,l))+
 sum((i,l,m), t(i)*xilm(i,l,m)*blm(l,m))+
 sum((i,m,n), t(i)*ximn(i,m,n)*bmn(m,n))+
 sum((i,n,p), t(i)*xinp(i,n,p)*bnp(n,p))+
 sum((i,m,p), t(i)*ximp(i,m,p)*bmp(m,p))+
 sum((i,p), b(i)*s(i)*dip(i,p)*TD(i))+
 sum(i, (1-b(i))*s(i)*DC(i)*TD(i))+
 sum((p,k), TC*bpk(p,k)*xpk(p,k))+ PC*sum(k,Q(k)) +
 sum(i, s(i)*CC(i)*TD(i)) ;

uretilen(i,k).. qik(i,k) =e= sum(l, xikl(i,k,l));

kkapasite(i,k).. qik(i,k) =l= CAPik(i,k) ;

talep(i,m).. sum(l, xilm(i,l,m)) =e= D(i,m) ;

donenmiktar(i,m).. sum(n, ximn(i,m,n))+sum(p, ximp(i,m,p)) =e= s(i)*sum(l, xilm(i,l,m));

gonderilen(p).. sum(k, xpk(p,k)) =e= sum((i,m), ximp(i,m,p)*b(i)*a(i)) + sum((n,i), xinp(i,n,p)*b(i)*a(i));

dagmerkezi(i,l).. sum(k, xikl(i,k,l)) =e= sum(m, xilm(i,l,m));

topmerkezi(i,n).. sum(m, ximn(i,m,n)) =e= sum(p, xinp(i,n,p));

pkapasite(i,p).. (sum(n, xinp(i,n,p))+sum(m, ximp(i,m,p))) =l= CAPip(i,p)*yp(p);

EK-2 (Devam) Örnek problem 1'e ait GAMS modeli

```

kkapasite2(k)..  Q(k)+sum(p, xpk(p,k)) =l= CAPk(k);
lkapasite(i,l)..  sum(k, xikl(i,k,l)) =l= CAPil(i,l)*yl(l);
nkapasite(i,n)..  sum(m, ximn(i,m,n)) =l= CAPin(i,n)*yn(n);
hammadde (k)..  sum(i, qik(i,k)*a(i)) =e= Q(k) + sum(p, xpk(p,k));
talepdenge(i)..  TD(i)=e=sum(m, D(i,m));

```

```

model reverse /all/ ;
reverse.optcr=0;
solve reverse using mip minimizing z ;
display z.l, xikl.l, Q.l, q.l ;

```

EK-3 15 ve 20 ürün çeşidi sayısı için deney tasarımı sonuçları

Çizelge 3.1. 15 ürünlü problemler için hesaplama sonuçları

Ürün sayısı	Müşteri Bölgesi sayısı	Dağıtım merkezi sayısı	Üretim tesisi sayısı	Toplama merkezi sayısı	Ayrıştırma tesisi sayısı	Dönüş oranı	CPU zamanı	Amaç fonksiyonu değeri
15	125	10	10	10	10	0,1	101,97	131 191 990
15	125	10	10	10	10	0,2	143,44	127 646 231
15	125	10	10	10	10	0,3	64,78	126 556 464
15	125	10	10	10	10	0,4	208,80	124 363 780
15	125	10	10	10	10	0,5	316,20	122 406 304
15	125	10	10	10	10	0,6	328,80	121 341 517
15	125	10	10	10	10	0,7	210,47	119 622 443
15	125	10	10	10	10	0,8	283,31	118 153 867
15	125	10	10	10	10	0,9	19,77	118 888 975
15	125	10	10	10	10	1	139,44	116 079 427
15	125	15	10	10	10	0,1	104,98	129 878 213
15	125	15	10	10	10	0,2	472,67	128 425 841
15	125	15	10	10	10	0,3	278,47	127 892 759
15	125	15	10	10	10	0,4	304,81	123 976 136
15	125	15	10	10	10	0,5	251,22	123 873 709
15	125	15	10	10	10	0,6	198,56	122 846 101
15	125	15	10	10	10	0,7	141,61	121 493 984
15	125	15	10	10	10	0,8	174,63	119 933 714
15	125	15	10	10	10	0,9	121,03	118 323 656
15	125	15	10	10	10	1	103,59	118 217 879
15	125	15	15	15	15	0,1	3 991,11	128 850 262
15	125	15	15	15	15	0,2	672,23	129 900 407
15	125	15	15	15	15	0,3	4 052,28	128 279 811
15	125	15	15	15	15	0,4	990,78	127 582 810
15	125	15	15	15	15	0,5	478,44	125 805 567
15	125	15	15	15	15	0,6	696,47	126 470 633
15	125	15	15	15	15	0,7	470,27	124 033 450
15	125	15	15	15	15	0,8	451,06	123 973 656
15	125	15	15	15	15	0,9	266,33	122 572 553
15	125	15	15	15	15	1	1 444,45	122 480 311
15	150	15	15	15	15	0,1	849,08	157 084 435
15	150	15	15	15	15	0,2	561,22	155 126 818
15	150	15	15	15	15	0,3	1 154,97	155 254 128
15	150	15	15	15	15	0,4	426,31	153 028 663
15	150	15	15	15	15	0,5	554,23	152 037 318
15	150	15	15	15	15	0,6	3 824,81	149 322 241
15	150	15	15	15	15	0,7	3 594,72	149 179 922
15	150	15	15	15	15	0,8	3 836,16	148 292 771
15	150	15	15	15	15	0,9	2 674,55	145 812 353
15	150	15	15	15	15	1	3 330,36	145 387 935
15	150	20	15	15	15	0,1	542,88	156 819 500
15	150	20	15	15	15	0,2	857,27	154 212 544
15	150	20	15	15	15	0,3	3 677,45	154 697 046
15	150	20	15	15	15	0,4	2 144,64	154 017 731
15	150	20	15	15	15	0,5	2 355,64	152 505 901
15	150	20	15	15	15	0,6	3 673,83	151 244 439
15	150	20	15	15	15	0,7	1 873,86	150 756 064
15	150	20	15	15	15	0,8	3 683,94	149 776 312

EK-3 (Devam) 15 ve 20 ürün çeşidi sayısı için deney tasarımı sonuçları

Çizelge 3.1. (Devam) 15 ürünlü problemler için hesaplama sonuçları

15	150	20	15	15	15	0,9	2 733,55	145 448 009
15	150	20	15	15	15	1	2 232,17	145 221 294
15	150	20	20	20	20	0,1	3 634,80	157 679 253
15	150	20	20	20	20	0,2	3 622,59	156 760 537
15	150	20	20	20	20	0,3	3 636,09	155 814 525
15	150	20	20	20	20	0,4	3 622,84	155 531 248
15	150	20	20	20	20	0,5	3 661,22	155 913 613
15	150	20	20	20	20	0,6	3 567,95	155 273 224
15	150	20	20	20	20	0,7	3 626,75	154 385 403
15	150	20	20	20	20	0,8	1 792,94	155 653 586
15	150	20	20	20	20	0,9	3 038,02	154 940 831
15	150	20	20	20	20	1	3 609,52	154 340 483

EK-3 (Devam) 15 ve 20 ürün çeşidi sayısı için deney tasarımı sonuçları

Çizelge 3.2. 20 ürünli problemler için hesaplama sonuçları

Ürün sayısı	Müşteri Bölgesi sayısı	Dağıtım merkezi sayısı	Üretim tesisi sayısı	Toplama merkezi sayısı	Ayrıştırma tesisi sayısı	Dönüş oranı	CPU zamanı	Amaç fonksiyonu değeri
20	150	15	15	15	15	0,1	2 859,08	206 902 774
20	150	15	15	15	15	0,2	657,53	205 409 353
20	150	15	15	15	15	0,3	3 086,38	204 871 508
20	150	15	15	15	15	0,4	2 867,89	204 565 121
20	150	15	15	15	15	0,5	3 652,88	202 109 963
20	150	15	15	15	15	0,6	3 436,42	202 066 758
20	150	15	15	15	15	0,7	1 719,67	202 843 604
20	150	15	15	15	15	0,8	520,72	200 840 088
20	150	15	15	15	15	0,9	1 788,00	196 619 203
20	150	15	15	15	15	1	1 543,92	195 013 628
20	150	20	15	15	15	0,1	2 390,95	206 980 487
20	150	20	15	15	15	0,2	3 024,69	206 791 170
20	150	20	15	15	15	0,3	1 877,77	205 443 499
20	150	20	15	15	15	0,4	1 564,94	204 287 308
20	150	20	15	15	15	0,5	3 712,70	201 288 376
20	150	20	15	15	15	0,6	3 699,39	198 767 274
20	150	20	15	15	15	0,7	2 567,51	198 323 382
20	150	20	15	15	15	0,8	813,33	198 806 507
20	150	20	15	15	15	0,9	3 518,98	196 367 694
20	150	20	15	15	15	1	3 616,53	194 998 148
20	150	20	20	20	20	0,1	2 827,19	209 578 346
20	150	20	20	20	20	0,2	3 742,25	208 969 498
20	150	20	20	20	20	0,3	2 147,86	208 231 020
20	150	20	20	20	20	0,4	3 702,13	208 183 496
20	150	20	20	20	20	0,5	3 765,92	208 298 571
20	150	20	20	20	20	0,6	3 691,41	207 139 649
20	150	20	20	20	20	0,7	3 680,13	206 976 306
20	150	20	20	20	20	0,8	3 730,89	206 101 992
20	150	20	20	20	20	0,9	3 765,33	205 962 354
20	150	20	20	20	20	1	3 633,17	204 987 612
20	200	20	20	20	20	0,1	3 654,31	279 828 248
20	200	20	20	20	20	0,2	3 779,00	277 794 011
20	200	20	20	20	20	0,3	3 780,91	277 402 652
20	200	20	20	20	20	0,4	3 862,02	276 368 121
20	200	20	20	20	20	0,5	3 367,06	275 632 907
20	200	20	20	20	20	0,6	3 876,75	275 101 003
20	200	20	20	20	20	0,7	2 544,86	274 238 138
20	200	20	20	20	20	0,8	3 901,30	274 036 096
20	200	20	20	20	20	0,9	2 785,81	274 342 798
20	200	20	20	20	20	1	3 838,13	274 175 536
20	200	25	20	20	20	0,1	3 791,83	278 398 621
20	200	25	20	20	20	0,2	3 813,91	277 531 912
20	200	25	20	20	20	0,3	3 812,34	277 222 608
20	200	25	20	20	20	0,4	3 798,53	276 290 617
20	200	25	20	20	20	0,5	3 819,33	276 621 959
20	200	25	20	20	20	0,6	3 735,78	276 694 695
20	200	25	20	20	20	0,7	3 616,11	277 008 684

EK-3 (Devam) 15 ve 20 ürün çeşidi sayısı için deney tasarımı sonuçları

Çizelge 3.2. (Devam) 20 ürünlü problemler için hesaplama sonuçları

20	200	25	20	20	20	0,8	2 986,86	276 496 903
20	200	25	20	20	20	0,9	3 753,00	275 059 414
20	200	25	20	20	20	1	3 437,86	270 596 253

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZGÜN DEMİREL Neslihan
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 24.07.1983 Kayseri
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 505 617 85 30
 e-mail : neslihanozgun@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Endüstri Mühendisliği	-
Lisans	Erciyes Üniversitesi/ Endüstri Mühendisliği	2005
Lise	Sema Yazar Anadolu Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Özgün Demirel, N., Gökçen, H., “A Mixed Integer Programming Model for Remanufacturing in Reverse Logistics Environment”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, basımda, 2007.
- Özgün Demirel, N., Gökçen, H., “Yeniden İmalat Sistemleri İçin Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri Şebekesi Tasarımı ve Karma Tamsayılı Programlama Modeli”, ÜAS 07 Üretim Araştırmaları Sempozyumu, Bildiri Özetleri Kitabı, s.6, 15-17 Kasım, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2007.

Hobiler

Alışveriş, sinema, voleybol, müzik.